

UNIVERZITET U BEOGRADU
ŠUMARSKI FAKULTET



MASTER RAD

**Procena ugroženosti erozijom zemljišta na području
izvorišta vodosnabdevanja Rzav**

Mentor:

Dr Tijana Vulević, docent

Student:

Ana Stojanović

Broj doc: 2021/9

Oktobar, 2022.

Apstrakt

Zemljište predstavlja ključni prirodni resurs u obezbeđivanju osnovnih ljudskih potreba. Erozija zemljišta je jedan od najzastupljenijih oblika fizičke degradacije zemljišta kako u svetu tako i u Republici Srbiji. Obzirom da nastanak i razvoj erozionih procesa zavise od značajnog broja faktora kao i njihovog međusobnog odnosa, proučavanje erozionih procesa predstavlja kompleksan, dugotrajan i često skup proces. Sa ciljem da se procene gubici zemljišta kao i nivoi rizika od erozije, danas je dostupan veliki broj modela. Većina njih se bazira na logici GIS-a zahvaljujući njegovoj mogućnosti da sublimira heterogene informacije. U ovom radu, analiza prostorne degradacije prirodnih resursa je vršena na slivu reke Veliki Rzav. Degradacija zemljišta na istraživanom području je analizirana primenom metode Potencijala erozije. Metoda se odlikuje visokim stepenom pouzdanosti za utvrđivanje intenziteta erozije i proračune produkcije i pronosa erozionih nanosa. Osnovna prednost ove metode u odnosu na druge je njena manja zahtevnost prema kvantitetu ulaznih parametara, jednostavnost, kao i da mogućnost njena primena u GIS okruženju. Osim toga, metoda ima prednost izbora, jer je razvijena na našem području. Metod polazi od analitičke obrade podataka o činiocima koji utiču na eroziju. Kako je erozija prostorna pojava, prikazuje se na karti prema klasifikaciji na osnovu analitički izračunatog koeficijenta erozije (Z), koji zavisi od karakteristika tla, vegetacionog pokrivača, reljefa i vidljive zastupljenosti erozije. Primenom metode Potencijala erozije izrađena je karta erozije, na kojoj je prikazana prostorna raspodela erozionih procesa na slivu reke Veliki Rzav. Karta erozije pruža uvid u stanje erozionih procesa različitog intenziteta i karaktera. Pored toga, prema ovoj metodi izvršen je i proračun srednje godišnje produkcije erozionog materijala na istraživanom slivu.

Ključne reči: degradacija, erozioni modeli, metod Potencijala erozije, Veliki Rzav, GIS

Abstract

Land is a key natural resource in providing basic human needs. Soil erosion is one of the most prevalent forms of physical soil degradation both in the world and in the Republic of Serbia. Given that the emergence and development of the erosion process is influenced by a significant number of factors as well as their interrelationships, the study of erosion processes is a complex, long-term and often expensive process. In order to estimate soil losses as well as erosion risk levels, a large number of models are available today. Most of them are based on GIS logic thanks to its ability to sublimate heterogeneous information. In this work, the analysis of spatial and temporal degradation of natural resources was performed in the Veliki Rzav river basin. Soil degradation in the research area was analyzed using the Erosion Potential method. The method is characterized by a high degree of reliability for determining the intensity of erosion and calculations of the production and transfer of erosion sediments. The main advantage of this method compared to others is its lower demand for the quantity of input parameters, simplicity, as well as the possibility of its application in a GIS environment. In addition, the method has the advantage of choice, because it was developed in our area. The method starts from the analytical processing of data on the factors that affect erosion. As erosion is a spatial phenomenon, it is shown on the map according to the classification based on the analytically calculated erosion coefficient (Z), which depends on the characteristics of the soil, vegetation cover, relief and the visible presence of erosion. Using the Erosion Potential method, an erosion map was created, showing the spatial distribution of erosion processes in the Veliki Rzav river basin. The erosion map provides an insight into the state of erosion processes of different intensity and character. In addition, according to this method, the calculation of the average annual production of erosion material in the investigated watershed was also performed.

Key words: degradation, erosion models, erosion potential method, Veliki Rzav, GIS

Rezime

Zemljište predstavlja jednu od najjačih veza između čoveka i prirode. Ono je izvor moći, ako ga posmatramo kao teritoriju, takođe je sirovina, najveće skladište ugljenika na svetu, izvor hrane i biomase. Međutim, iako ima ove i mnoge druge korisne funkcije, jedan od najvećih problema u svetu jeste njegova degradacija izazvana erozionim procesima (Babović, 2016).

Još 6000 godina p.n.e. obešumljavanje u Jordanu nateralo je ljude da napuštaju trajna naselja kako bi se prehranili, jer su prihodi na ogoljenom zemljištu bivali sve manji. U dolini Inda, na prelazu iz drugog u treći milenijum, stabla su masovno sečena, jer je cigla sušena na drva, što je dovelo do erozije i smanjenja plodnosti. Na severu Kine je otklonjen travni pokrivač u korist poljoprivrede, što je najpre izazvalo eroziju, a zatim i poplave Žute reke. Slična situacija dogodila se i u Japanu, pa je nakon 1600. godine uvedena stroga kontrola i izdavanje dozvola za obaranje drveća. Prestonica Etiopije bila je najpre na severu države, a zatim je, zbog deforestacije, to postala Adis Abeba, ali nakon dve decenije i ovde su se osetile posledice nebrige o zemljištu. Jedan od ključnih razloga propasti velikih civilizacija bila je nebriga o prirodi, a naročito o zemljištu koje je preko svake mere eksploatisano, bez ideje o održivosti i neobnovljivosti ovog resursa. Stari Grci su poznavali tehnike đubrenja i gradnje terasa na padinama, radi smanjenja erozije, ali je pritisak stanovništva i ovde doveo do istih posledica (Ponting, 2009).

Postoji jako puno definicija erozije, međutim pod pojmom erozije u elementarnom smislu treba podrazumevati promene na površinskom sloju zemljišnog reljefa, koje nastaju kao posledice delovanja kiše, snega, mraza, temperaturnih razlika, vetra i tekućih voda, ili usled rada antropogenih činilaca (Gavrilović, 1972).

Kao produkt erozionih procesa u slivu i koritu vodotoka javlja se erozioni nanos, koji posle otkidanja i kraćeg ili dužeg transporta padinama sliva dospeva u hidrografsku mrežu kojom se dalje transportuje zavisno od hidrološko-hidrauličkih uslova i transportne sposobnosti vodotoka. Prisustvo erozionog nanosa kao čvrste faze čini da vodotoci postaju dvofazni, odnosno, pored vode kao tečne faze pojavljuje se još jedna komponenta - nanos, kao čvrsta faza. To je osnovna razlika između običnih i bujičnih vodotoka (Mladenović, 2012).

Sa stanovišta navodnjavanja i odvodnjavanja, erozija i sedimentacija utiču na smanjenje propusne moći kanala, smanjenje zapremine akumulacija i pogoršanje kvaliteta vode za navodnjavanje usled zamućenosti. Bez obzira da li se radi o procesima vodne ili eolske erozije,

oni, udruženi sa poplavama uništavaju ne samo zemljišni fond, već izazivaju i velike poremećaje u raspoloživim zalihama vode neophodnih za život čoveka i njegovu privredu, jer obezbeđena dovoljna količina zdravstveno bezbedne vode je u velikom broju evropskih i svetskih dokumenata propisana kao osnovno ljudsko pravo (UN General Assembly, 2010). Drastično smanjivanje zemljišnog fonda i zaliha korisnih voda ugrožava i ljudsku budućnost na zemlji (Gabrić, 2014).

U ovom master radu izvršeno je utvrđivanje prostorne distribucije intenziteta erozionih procesa i produkcije erozionog materijala, na teritoriji sliva reke Veliki Rzav, obzirom da se vode ovog sliva koriste za vodosnabdevanje potrošača koji su priključeni na regionalni vodosistem "Rzav", a da uticaj erozije i bujica predstavlja jedan od važnijih činioca koji utiču na ranjivost pomenutog sliva.

Borba protiv vodne i eolske erozije ne može uspešno da se sprovede bez integralnih i pravilno koordiniranih mera za uređenje slivova i konzervaciju voda. Sve to nameće imperativ da stručnjaci koji se bave zaštitom zemljišta od erozije i uređenjem bujičnih tokova, treba da posmatraju sliv sveobuhvatno kao jedinstvenu i nedeljivu celinu, u kojoj je svaka kategorija kao što su voda, zemljište, vegetacioni pokrivač, neposredno podređena osnovnoj svrsi da ne bude plen stihijskih sila, već da jedinstveno služi na dobro čoveku i omogućava dalji razvoj njegove privrede i kulture (Gavrilović, 1972).

Sadržaj

| | |
|---|-----------|
| 1. Uvod..... | 1 |
| 1.1. Predmet istraživanja..... | 2 |
| 1.2. Značaj i cilj istraživanja | 2 |
| 2. Erozija kao oblik degradacije zemljišta | 4 |
| 2.1. Nastanak erozionih procesa..... | 4 |
| 2.2. Tipovi erozije..... | 6 |
| 2.3. Zastupljenost erozije | 8 |
| 2.4. Zakonska regulativa u oblasti zaštite zemljišta od erozije | 10 |
| 3. Modeliranje i procena rizika od erozije zemljišta..... | 12 |
| 4. Materijal i metod rada | 16 |
| 4.1. Opis područja sliva Velikog Rzava | 16 |
| 4.1.1. Geografski položaj | 16 |
| 4.1.2. Klimatske karakteristike | 17 |
| 4.1.3. Geomorfološki oblici reljefa | 18 |
| 4.1.4. Pedološke karakteristike zemljišta | 19 |
| 4.1.5. Vegetacija istraživanog područja | 20 |
| 4.1.6. Način korišćenja zemljišta – namena površina | 21 |
| 4.2. Metod Potencijala erozije..... | 21 |
| 4.2.1. Temperaturni koeficijent područja (T) | 23 |
| 4.2.2. Srednja godišnja količina padavina (Hgod)..... | 24 |
| 4.2.3. Koeficijent erozije (Z)..... | 24 |
| 4.2.4. Koeficijent otpora zemljišta na eroziju (Y) | 24 |
| 4.2.5. Koeficijent uređenja sliva (X·a)..... | 25 |
| 4.2.6. Koeficijent vidljivih i jasno izraženih erozionih procesa (φ)..... | 25 |
| 4.2.7. Srednji nagib terena (Isr)..... | 25 |
| 5. Rezultati i diskusija | 26 |
| 5.1. Koeficijent otpora zemljišta na eroziju (Y)..... | 26 |
| 5.2. Koeficijent uređenja sliva (X·a)..... | 28 |
| 5.3. Koeficijent vidljivih i jasno izraženih erozionih procesa (φ)..... | 30 |
| 5.4. Srednji nagib terena (Isr)..... | 30 |
| 5.5. Koeficijent erozije (Z)..... | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 5.6. Temperaturni koeficijent i srednja godišnja količina padavina..... | 33 |
| 5.7. Procena gubitaka zemljišta prema Metodi Potencijala erozije..... | 35 |
| 6. Zaključak..... | 37 |
| 7. Literatura | 39 |

1. Uvod

Zemljište ima veliki značaj za živi svet na zemlji, opstanak čoveka i razvoj civilizacije. Izvor je energije, brojnih minerala, mikro i makroelemenata neophodnih za nastanak, razvoj i održavanje svih živih bica i kompletne biosfere. Osim biohemiskog i energetskog značaja, zemljište svojim fizičkim, higijenskim, geografskim i topografskim osobinama (temperaturom, vlažnošću, faunom, florom) direktno utiče na zdravlje čoveka. Zemljište predstavlja izvor vode i mineralnih materija za biljni svet, a posredno i za ostali živi svet uključujući i čoveka. Prekomerno zagađivanje zemljišta organskim i neorganskim jedinjenjima dovodi do degradacije zemljišta i poremećaja ekosistema (Ljujić, 2013). Organizacija Ujedinjenih nacija za hranu i poljoprivredu (Food and Agriculture Organization - FAO) zemljište definiše kao ograničen (uslovno obnovljiv) resurs, što znači da se njegov gubitak i degradacija ne mogu nadoknaditi u toku prosečnog životnog veka čoveka (FAO, 2015), obzirom da je za formiranje sloja zemljišta debljine 1 cm potrebno je između 100 i 400 godina.

Demografska ekspanzija, koja je posebno izražena poslednja dva veka (broj stanovnika je uvećan sa jedne na skoro sedam milijardi ljudi), dovodi do izraženih promena u nameni i strukturi zemljišnog pokrivača. Povećana potreba za hranom kao posledicu ima širenje poljoprivrede, a uz to i prekomernu upotrebu hemijskih sredstava za potrebe poljoprivrede, krčenje šuma, industrijalizaciju, stvaranje divljih deponija, kao i fekalnih otpadnih voda. Sve ove aktivnosti čine potencijalne uzroke degradacije, koja predstavlja blaži stepen oštećenja zemljišta, pri kome se smanjuje njegova produktivnost kao posledica pogoršanja fizičkih, hemijskih i bioloških osobina zemljišta (Golubović, 2020). Degradacioni procesi nastaju na lokalnom nivou, ali svojim daljim prostornim razvojem predstavljaju pretnju na regionalnim i globalnim razmerama (Polovina, 2022).

Tipovi degradacije zemljišta su erozija, smanjenje sadržaja organske materije, zagađenje, sabijanje, zauzimanje (prenamena) zemljišta, zaslanjivanje (salinizacija), zakiseljavanje (acidifikacija) i klizišta (MZŽS, 2018). U Strategiji zaštite zemljišta (EC (2006) 232, (2006) 231) deklarativno se navodi da se zemljište, odnosno zemljišne funkcije moraju zaštititi od degradacije u cilju postizanja održivog razvoja (Belanović Simić, 2017).

Erozija zemljišta je glavni i najrasprostranjeniji oblik degradacije zemljišta, i kao takva, predstavlja ozbiljno ograničenje održivom razvoju privrede i društva. Pod pojmom erozije u elementarnom smislu treba podrazumevati promene na površinskom sloju zemljišnog reljefa,

koje nastaju kao posledica delovanja kiše, snega, mraza, temperaturnih razlika, vetra i tekućih voda ili usled antropogenog faktora (Gavrilović, 1972).

1.1. Predmet istraživanja

Značajan deo Republike Srbije čine brdsko-planinska područja, koja po konfiguraciji terena, geološkoj podlozi, klimatskim prilikama i hidrografskoj mreži predstavljaju vrlo povoljno tlo za razvoj erozionih procesa koji razaraju zemljište i remete vodni režim. Zemljišni i vodni resursi predstavljaju važan element životne sredine kojima se upravlja na nivou sliva, kao prirodnoj hidrografskoj celini u cilju sprečavanja dalje degradacije zemljišta i njegovog odnošenja u rečne tokove (Kostadinov, 1996).

Gubitak zemljišta koji je uzrokovan procesima erozije predstavlja značajan problem, kako u svetu tako i u Republici Srbiji, te se nameće neophodnost prostorne identifikacije i kvantitativne procene gubitaka zemljišta, što je jedan od preduslova održivog upravljanja vitalnim resursima životne sredine.

Procena erozije zemljišta se može vršiti na prostornim jedinicama veće ili manje detaljnosti, odnosno: nivou polja (eng. field scale), nivou sliva (eng. catchment scale), nivou predela (eng. landscape scale) (Favis-Mortlock, 1996).

Za potrebe istraživanja ovog rada procena erozije zemljišta je vršena na nivou sliva Velikog Rzava. Sliv se nalazi u jugozapadnom delu Republike Srbije i do bujične pregrade "Ševelj", odnosno do vodozahvata za vodosnabdevanje zahvata površinu od oko 566 km².

1.2. Značaj i cilj istraživanja

Prema Prostornom planu područja izvorišta vodosnabdevanja regionalnog podsistema Rzav (2004), sliv Velikog Rzava, njegovo korišćenje, uređenje i zaštita, ima širi kontekst delovanja zajedno sa zapadno-moravskim i ibarsko-šumadijskim regionalnim sistemom. Vodne akumulacije na Velikom Rzavu određene su kao najvažniji vodoprivredni objekti u okviru integralnog vodoprivrednog korišćenja, uređenja i zaštite voda države Srbije, obzirom da se sa ovog vodovodnog sistema vrši snabdevanje vodom Arilja, Požege, Lučana, Čačka i Gornji Milanovaca. Sliv Velikog Rzava je jedini u Srbiji koji, dugoročno gledano, može da zadovolji makroregionalne potrebe za vodom i istovremeno obezbedi deo protoka za popravljavanje vodnih režima u rečnom sistemu Zapadne i Velike Morave.

Shvatajući značaj vodovodnog sistema „Rzav“, cilj istraživanja ovog master rada je utvrđivanje prostorne distribucije intenziteta erozionih procesa i produkcije erozionog materijala, na teritoriji sliva reke Veliki Rzav, obzirom da uticaj erozije i bujica predstavlja jedan od činioca koji utiču na ranjivost pomenutog sliva. U cilju redukcije inteziteta i produkcije erozionog materijala, utvrđena prostorna distribucija ima jako važnu ulogu u daljem odabiru različitih mera i radova koje je neophodno sprovesti, od kojih treba izabrati optimalne (promena načina korišćenja, izradnja tehničkih objekata, ili izvođenje bioloških radova i dr.) (Vulević, 2017).

2. Erozija kao oblik degradacije zemljišta

Sve veće površine različitih tipova zemljišta su pod manjim ili većim uticajem degradacije, zagađenja i devastacije. Različiti procesi degradacije zemljišta, kao što su erozija, gubitak plodnosti, acidifikacija, salinizacija, smanjenje sadržaja ugljenika i zbijanje (kompakcija), predstavljaju ozbiljan problem globalnih razmera, što je obuhvaćeno i regulativama Evropske unije, ali i nekim međunarodnim konvencijama (Polovina, 2022).

Erozija zemljišta je identifikovana kao najvažniji, najopasniji i najrašireniji oblik degradacije zemljišta. Erozijski proces prati ljudske aktivnosti od njegovog postojanja do danas. Reč je o globalnom problemu koji, u zavisnosti od geografskog položaja zemalja, specifičnosti prirodnih faktora i stepena društveno-ekonomskog razvoja, nanosi ogromnu štetu ukupnom razvoju društveno-ekonomskih sistema. Ova pojava koja najdirektnije utiče na održivi razvoj i unapređenje dva najbitnija izvora života na planeti Zemlji, zemljišta i voda, a posredno i vegetacije i vazduha. Delovanje erozivnih procesa takođe direktno utiče na primarne grane na lokalnom, regionalnom, kontinentalnom i globalnom nivou, a pre svega: poljoprivredu, vodoprivredu, šumarstvo, energetiku, saobraćaj, urbanističko i prostorno planiranje i naravno životnu sredinu (Минчев, 2014).

Na eroziju zemljišta i posledičnu produkciju erozionog materijala utiču vremenski statični (uslovno nepromenjivi) parametri, kao što su karakteristike reljefa, geološka i pedološka svojstva, ali i vremenski dinamični (promenljivi) parametri, odnosno, klima, hidrološki uslovi sredine, oscilacije nivoa podzemnih voda, način korišćenja zemljišta i sl.

Glavni karakter ovog procesa je isti u celom svetu, ali je intenzitet procesa različit i zavisi od karakteristika faktora koji na datom prostoru deluju (Manojlović, 2018).

2.1. Nastanak erozionih procesa

Erozija zemljišta je prirodni proces koji započinje otkidanjem čestice zemljišta sa njegovog površinskog sloja i njenim transportom pod dejstvom erozione sile. Mehanizam erozionih procesa zemljišta može se podeliti u tri faze: faza otkidanje, faza transporta i faza taloženja (Gavrilović, 1972; Morgan, 1979). Uzročnost se može prepoznati u odnosu erozionih procesa i oblika terena (morfologija, mikromorfologija). Erozijski proces utiče na oblikovanje terena, dok morfologija i mikromorfologija terena uslovljavaju pojavu erozionih procesa (Poesen

et al., 1990). Pod pojmom erozija podrazumevaju se promene na površinskom sloju zemljišnog reljefa, koje nastaju pri prekoračenju graničnih uslova („praga“) između aktivnih erozionih sila i otpornosti zemljišta na eroziju, kao reaktivnih sila (Todorović, 1991).

Zemljište kao prirodna tvorevina odlikuje se izraženom nehomogenošću. Površinski sloj zemljišta sačinjen je od čvrstih čestica različitog porekla i krupnoće, uz prisustvo pora, vode i organske materije, sa različitim rasporedom sastavnih elemenata. S obzirom na izraženu nehomogenost, zemljište pod dejstvom spoljašnje sile (erozije) korespondira različitom deformacijom. Makroskopsko ponašanje (deformacije) zemljišnog pokrivača, pod dejstvom erozionih sila, zavisi od unutrašnje konstitucije zemljišta (Živanović, 2020).

Zemljište može biti erodirano usled dejstva vode i vetra ili njihovog zajedničkog udara. Vodna erozija može biti: pluvijalna (erozija izazvana kišom) i fluvijalna (erozija izazvana tekućom vodom). Erozija izazvana vetrom (eolska erozija) zastupljena je u pustinjskim i stepsko-pustinjskim regionima (Минчев, 2014). U Republici Srbiji, eolska erozija je najzastupljenija na području AP Vojvodine. Abrazivna erozija (erozija izazvana kombinovanim dejstvom vode i vetra) prisutna je na obalama okeana, mora, a u Republici Srbiji je prisutna na obalama prirodnih i veštačkih jezera (akumulacija).

Erozioni procesi prisutni su na celokupnoj površini Zemlje, kao dominantan faktor u stalnim promenama i oblikovanju reljefa planete. Erozijska produkcija, transport i taloženje nanosa predstavljaju segmente jedinstvenog prirodnog procesa koji se odvija u sadejstvu više prirodnih činilaca: geomorfoloških, geoloških, pedoloških, meteoroloških, hidroloških, bioloških i dr. Pored prirodnih, i antropogeni faktor igra vrlo značajnu ulogu u razvoju erozionih procesa. Sa razvojem civilizacije antropogeni faktor generiše intenziviranje erozionih procesa, isključivo kao posledicu negativnog delovanja čoveka. Procenjuje se da je oko 2 milijarde ha ukupne površine zemljišnog prostora u svetu zahvaćeno erozionim procesima usled ljudske aktivnosti (Lal, 2001). Erozijski procesi i transport nanosa zadiru u mnoge oblasti ljudskih aktivnosti. Sve osnovne privredne delatnosti (poljoprivreda, šumarstvo, vodoprivreda, industrija, građevinarstvo i drugo) imaju više dodirnih tačaka sa problematikom erozije i nanosa. Erozija zemljišta ima uticaja i na neke neprivredne delatnosti - zaštitu prirodne sredine, rekreaciju i dr (Ljujić, 2013).

Na eroziju zemljišta i nastanak erozionih procesa, utiču raznovrsni biofizički i antropogeni procesi koji se odvijaju sa različitim intenzitetom (Saavedra, 2005). Od prirodnih faktora izdvajaju se nagib, dužina padine, ekspozicija, klima sa pluviometrijskim režimom,

intenzitetom padavina i temperaturom vazduha. S tim u vezi su i hidrološki parametri, pre svega visina i brzina oticaja, koji su u sadejstvu sa geološkim, pedološkim i vegetacijskim karakteristikama sliva. Uticaj antropogenih faktora se, pre svega, ogleda u promeni načina korišćenja zemljišta tokom vremena. Naime, usled dugotrajne pojave iseljavanja ruralnih prostora ili antropopresije na isti, a s tim u vezi i promene načina njegovog korišćenja, pre svega, poljoprivrednih površina, nastaje velika promena u intenzitetu erozionih procesa. Drugi značajan antropogeni faktor koji utiče na ovaj proces je primena različitih antierozivnih mera zaštite zemljišta od erozije (Manojlović, 2018).

Za kvantitativno definisanje erozionih procesa nema jedinstvenog obrasca. Neki od faktora utiču na povećanje intenziteta erozije, dok drugi smanjuju i kontrolišu proces. U mnogim slučajevima je teško odvojiti uticaj promena koje izaziva jedan faktor od drugih promena u slivu. Diferencijacija faktora, kao i koliki je njihov samostalni i interaktivan uticaj na promene intenziteta erozije nije moguće utvrditi korišćenjem samo jedne metode (Manojlović, 2018).

2.2. Tipovi erozije

Izučavanjem procesa erozije počeli su da se bave inženjeri agrotehnike početkom XX veka u SAD (Wischmeier & Smith, 1965). Ispitivanja na prirodnim i manjim eksperimentalnim slivovima počela su oko 1930. godine, a analiza tih rezultata 1940. godine. Prva formula koja je našla primenu u praksi je USLE (Universal Soil Loss Equation), koja je razvijena između 1950. i 1960. godine, a koja se i danas, uz izvesne modifikacije, koristi u čitavom svetu a naročito u SAD. Erozijski predstavlja dvofazan proces koji se sastoji od odvajanja čestica zemlje iz osnovne mase i njihovog transporta energijom vode ili vetra (Morgan, 2009). Najznačajniju ulogu u procesu erozije imaju kišne kapi koje svojim udarom o površinu tla razbacuju čestice zemlje na rastojanja i od po nekoliko desetina centimetara. Dalje, tečenjem vode po terenu ove čestice se transportuju nizvodno. Gubitkom transportne moći površinskog toka dolazi do pojave i treće faze – deponovanja.

Na osnovu do sada sprovedenih istraživanja, po načinu pojave, erozija se deli na: eroziju kišom (raindrop splash), površinsku eroziju (sheet, interrill, overland flow erosion) i brazdastu eroziju (rill i gully erosion) (Brayan, 1974). Pojava i veličina svakog od ovih procesa zavisi od klimatskih, topografskih, hidroloških i vegetacionih karakteristika kao i od samog tipa zemljišta.

- Erozijska kiša. Kiša predstavlja glavnu pokretačku snagu procesa koji izaziva eroziju. Prosečna veličina kišne kapi se kreće od 1-3 mm i ima tendenciju povećanja srazmerno intenzitetu kiše (Liu, 1999). Brzine padanja kreću se od veoma malih do preko 9 m/s u zavisnosti od veličine kišne kapi.
- Površinska erozija. Udar kišne kapi ima dominantnu ulogu u procesu narušavanja strukture čestica tla kada se erozija odvija tečenjem vode po površini liva. Čestice tla odvojene od osnovne mase se razlete po površini vode koja teče po slivu i transportuju se niz padinu. Površinski oticaj se javlja kao posledica duge kiše, kada dođe do saturacije površinskog sloja zemljišta ili u slučajevima kada je intenzitet kiše veći od intenziteta infiltracije (Morgan, 2009). Iako se iz naziva može zaključiti da se radi o sloju vode određene dubine koji teče po terenu, ovaj tip oticaja se u stvari javlja kao niz isprepletanih, veoma plitkih vodenih tokova bez jasno definisanih granica. Ovaj oticaj transportuje čestice zemljišta odvojene od osnovne mase udarom kišne kapi do privilegovanih tokova nizvodno niz padinu. Izučavanjem odvajanja čestica koherentnih materijala pod uticajem plitkih turbulentnih tokova zaključeno je da su naponi u zemljištu oko 1000 puta veći od onih koji se javljaju na kontaktu vode i zemljišta (Nearing et al., 1991). Naponi potrebni za pokretanje čestica nekoherentnog materijala su daleko manji od napona potrebnog za odvajanje koherentnog materijala. Generalno, da bi došlo do erozije vezanog materijala neophodno je zajedničko delovanje kiše i površinskog oticaja (Liu, 1999). Ulaskom erodovanih čestica u površinski tok dolazi do njihovog transporta ili stvaranja nepropusnog površinskog sloja deponovanjem sitnijih čestica. Ove deponovane čestice mogu opet da se pokrenu istim postupkom.
- Brazdasta erozija. Koncentracijom površinskog toka na deonicama pod nagibom većim od 20% i dužim od 5-10 metara dolazi do formiranja tzv. brazdi u kojima se oticaj kanališe (Yao et al., 2008). Promena površinskog oticaja u oticaj u brazdama vrši se u četiri faze: nekoncentrisani površinski oticaj, površinski oticaj sa koncentrisanim putanjama, mikro kanali bez čeonih talasa i mikro kanali sa čeonim talasima (Hudson, 1993). Sveukupna promena uslova tečenja kroz sve četiri faze se odvija pri Froude-ovom broju od 0,8-1,2. Na glatkim površinama, gde sav tangencijalni napon primaju čestice zemljišta, koncentracija nanosa u toku se povećava značajno kada brzine u brazdama variraju od 3,0-3,5 cm/s. Pri ovim brzinama dolazi do erozije svih frakcija zemljišta,

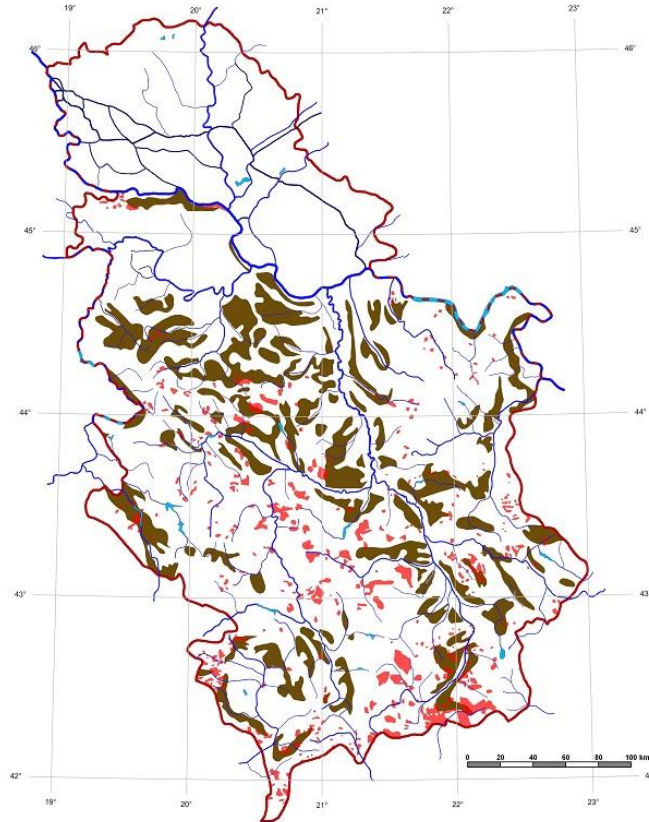
nezavisno od njihove dimenzije. Vrednost od 3,5 cm/s je usvojena za kritičnu brzinu tečenja za nevezana zemljišta.

2.3. Zastupljenost erozije

Pretpostavlja se da je oko 1,6 milijardi hektara obradivog zemljišta ugroženo erozionim procesima na globalnom nivou (63% od vodne erozije i 37% od erozije vetra). Procenjuje se da je 16% (105 miliona hektara) teritorije Evrope ugroženo vodnom erozijom, a oko 4% (42 miliona hektara) erozijom vetra (EEA, 2012).

Zakon o Prostornom planu Republike Srbije od 2010. do 2020. godine („Sl. Glasnik RS”, br.88/2010-4), prepoznaje eroziju zemljišta kao jedno od najvažnijih ograničenja za očuvanje prirodnih vrednosti i zaštitu životne sredine. Gubitak zemljišta izazvan procesom erozije je ozbiljan problem i u Republici Srbiji, a procena gubitaka zemljišta kao i sistem zaštite od erozije predstavljaju neophodni uslov za održivi razvoj privrede i društva.

Velike površine zemljišta u Republici Srbiji su zahvaćene erozionim procesima različitog intenziteta, što je prikazano na Karti erozije (Slika 1) iz 1983. godine (Lazarević, 1983), koja je izrađena u periodu od 1966. godine do 1971. godine prema Metodi Potencijala erozije (Gavrilović, 1972).



Slika 1. Karta erozije (Lazarević, 1983)

Osnovu za izradu prve Karte erozije predstavljala je originalna verzija prof. Slobodana Gavrilovića (Gavrilović, 1972), uz primenu modifikacija koje je predložio prof. Radenko Lazarević (Lazarević, 1983). Prema Karti erozije Srbije, utvrđeno je da erozioni procesi deluju na 86,39% ukupne teritorije sa sledećom strukturom: vrlo slaba erozije obuhvata 41,19%; slaba erozija 18,16%; osrednja erozija 12,67%; jaka erozija 13,21%; ekscisivna erozija 1,16%.

Godišnja produkcija erozionog materijala u Republici Srbiji iznosi oko $37,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, odnosno, $487,85 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2}$, što je 4,88 puta više od normalne (geološke) erozije (Ristić, Nikić, 2007). Erozioni procesi predstavljaju jedan od faktora nastanka bujičnih poplava. U Republici Srbiji je registrovano oko 11.500 bujičnih vodotokova, uglavnom južno od Save i Dunava, ali ih ima i na prostoru Vojvodine (Fruška gora, Vršачki i Titelski breg) (Ristić i sar., 2016).

2.4. Zakonska regulativa u oblasti zaštite zemljišta od erozije

Evropska komisija je usvojila Tematsku strategiju za zaštitu zemljišta (2006, http://ec.europa.eu/environment/soil/three_en.htm). U Strategiji se zemljište definiše kao gornji sloj zemljine kore, formiran od mineralnih čestica, organske materije, vode, vazduha i živih organizama. Zemljište je sirovina, ali i izvor biomase i hrane, a ujedno je i najveće skladište ugljenika na svetu (1 500 gigatona) (Babović, 2016).

Dragović i sar. (2007) dali su pregled institucionalnog organizovanja i zakonske regulative zaštite zemljišta od erozije i uređenja bujica u Republici Srbiji. Kao početna godina navodi se 1907., a radovi su bili izvedeni u Grdeličkoj klisuri. Godina početka sistematizovanog izvođenja radova na uređenju bujičnih slivova je 1928. u slivu Kalimanske reke. Radove na uređenju bujica i zaštiti zemljišta od erozije, početkom XX veka, izvodila je služba u okviru Uprave za železnice, koja je kasnije postala Odeljenje za uređenje bujica, u okviru Generalne direkcije za vode pri Ministarstvu poljoprivrede i voda. Ovaj Odsek je prerastao u upravu za uređenje bujica, što je napredak u osamostaljivanju u okviru šumarstva. U Nišu je 1948. godine osnovano preduzeće “Bujice”, koje po prvi put pored izvođačke, obavlja i projektantsku delatnost. Na osnovu zakona iz 1954. godine osnovano je 9 Reonskih sekcija za uređenje bujica, uglavnom pod nazivom “Erozija”.

Zakonom o vodama Srbije iz 1967. godine formira se Republički fond za vode. Reonske sekcije za uređenje bujica pretvorene su u Društvena vodoprivredna preduzeća. Finansiranje zaštite od erozije i bujica prelazi potpuno u okvir vodoprivrede. Dragović i sar. (2007) navode i niz zakona koji su doneseni, vezano za zaštitu od erozije i bujica, od kojih se mogu izdvojiti Zakon o uređenju bujica, 1930. godine (prvi u Republici Srbiji) i Zakon o zaštiti zemljišta i uređenju bujica iz 1954. godine. Cilj je bio stvaranje mogućnosti za sprovođenje radova na zaštiti zemljišta od erozije, bez obzira na vlasništvo.

Zakon o zaštiti zemljišta od erozije i o uređenju bujica objavljen je 1960. godine, međutim ukinut je 1965. godine prilikom usklađivanja sa novim Ustavom i od tada se ova oblast zakonski reguliše kroz Zakon o vodama, Zakon o korišćenju poljoprivrednog zemljišta, Zakon o šumama, Zakon o izgradnji investicionih objekata i dr. Kasnije je oblast zaštite zemljišta od erozije i uređenje bujica najpotpunije određena u Zakonu o vodama iz 1986. godine. U Zakonu o vodama iz 1996. godine je u znatno manjoj meri zastupljena ova oblast. U poređenju sa prethodnim zakonima o vodama, Zakon o vodama iz 2010. godine, je korak nazad jer se problemi zaštite zemljišta od erozije i uređenje bujica pominju u svega nekoliko članova. Nadležnost je prenet na nivo opština, koje često nemaju organizacionih i finansijskih mogućnosti za primenu zakona (Dragović, Ristić, 2013).

Niz zakona koji su doneseni i aktivnosti koje su na osnovu njih isplanirane, nisu sprovedeni zbog nedostatka materijalnih sredstava. Od devet preduzeća koja nose naziv “Erozija”, opstalo je pet, pri čemu su njihov domen i aktivnosti u znatnoj meri smanjene. DVP „Erozija” iz Vladičinog Hana više ne postoji, a najbliža proučavanom području je DVP “Erozija” iz Niša.

3. Modeliranje i procena rizika od erozije zemljišta

Modeliranje kao naučni metod ima važnu ulogu u proceni stanja pojedinih parametara životne sredine. Konkretno, u oblasti degradacije zemljišta, rezultati primene metoda modeliranja mogu da ukažu na kvantitativne parametre koji su neophodni za definisanje odgovarajućih mera i radova u prevenciji erozije zemljišta i bujičnih poplava.

Danas je dostupan širok spektar modela koji se mogu koristiti za procenu rizika od erozije. Erozijsko modeliranje se zasniva na razumevanju fizičkih zakona i procesa koji se odvijaju u prirodi. Primenom modela prirodni procesi se opisuju matematičkim formulacijama (Harmon, Doe, 2001). Modeli uključuju više ili manje ulaznih parametara, od kojih je većina ista. Glavni ulazni parametri su: supstrat (zemljište, geološka podloga), zemljišni pokrivač, nagib terena, klimatske karakteristike, erodibilnost supstrata, gustina i karakteristike hidrografske mreže itd. Većina njih je relativno konstantna za jedno područje, osim zemljišnog pokrivača i klimatskih elemenata i parametara (Минчев, 2014).

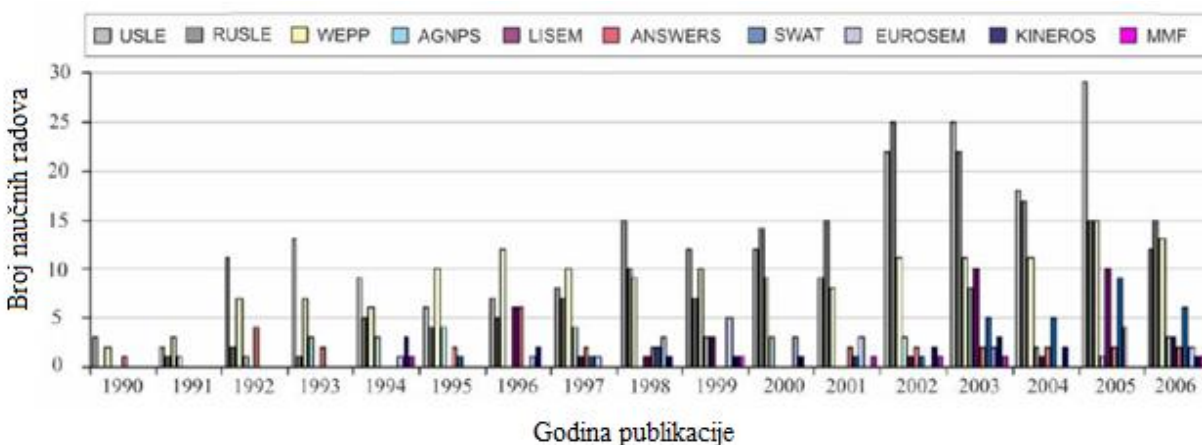
Različiti erozijski modeli su razvijani širom sveta sa ciljem da se lakše kvantifikuje efekat koji stvaraju erozijski procesi. Istraživači su stalno u potrazi za novim rešenjima, kako bi što realnije opisali zakonitosti funkcionisanja ekosistema. Različiti pristupi modeliranju erozijskih procesa može dovesti do značajno drugačijih rezultata, čak i u slučajevima kada se koristi isti erozijski model na indentičnom području. Način implementacije modela, odnosno, upotreba podataka sa različitim rezolucijama ili tačnosti, izvor ulaznih podataka, (ne)pravilna upotreba geostatističkih modula i drugo, mogu imati ključnu ulogu u tačnosti dobijenih rezultata. Međutim, ima još mnogo toga da se uradi u istraživanju ka pronalaženju prihvatljivog erozijskog modela kao i u procesu harmonizacije postojećih modela, jer je erozija zemljišta veoma složen proces sa različitim kompleksnim faktorima koji utiču na njen razvoj (Perović, 2015).

Erozijski modeli se mogu klasifikovati na više načina. Postoje modeli koji mogu da naprave podelu na osnovu vremenskih skala kao i modeli koji su projektovani da predvide dugoročne gubitke zemljišta. Takođe, može biti napravljena razlika između modela koji predviđaju eroziju na jednom lokalitetu, i onih koji predviđaju eroziju kroz prostornu distribuciju. Osnovna podela modela je na fizičke, analogne i digitalne. Fizički model je hardverski model urađen u laboratoriji, kojim se pretpostavlja dinamička sličnost između modela i realnog sveta. Analogni modeli predstavljaju primenu mehaničkog i elektronskog sistema.

Digitalni modeli se zasnivaju na primeni računarske tehnike za obradu velikog broja podataka i mogu biti podeljeni u tri grupe: stohastički, empirijski i modeli bazirani na fizičkim zakonitostima. Uspešnost svakog modela se može ceniti prema tome u kojoj meri zadovoljava postavljane ciljeve i zahteve. Sa modelima za procenu gubitka zemljišta, ovo znači određivanje vremena i prostora za koje se procene vrše, kao i nivoa tačnosti (Kadović, 1999).

Razvoj erozionih modela započeo je 1930-ih i 1940-ih godina XX veka u cilju razvoja koncepta zaštite poljoprivrednog zemljišta. Prva istraživanja su obavljena na nivou parcela sa pokušajima primene različitih konzervacionih mera. Kasnije su uvedeni parametri koji uzimaju u obzir strukturu zemljišnog pokrivača, specifične načine korišćenja zemljišta, potencijalnu erodibilnost i uticaj kinetičke energije kišnih kapi, što je dovelo do razvoja Univerzalne jednačine za procenu gubitaka zemljišta (eng. *Universal Soil Loss Equation-USLE*) (Polovina, 2022).

U poslednjih 15-20 godina objavljuje se sve veći broj publikacija u naučno-istraživačkim časopisima sa SCI liste (eng. *Science Citation Index*) u kojima su se koristili erozioni modeli (Slika 2) (Perović, 2015).



Slika 2. Učestalost objavljenih radova sa temom primene erozionih modela u SCI časopisima (Perović, 2015)

Najširu verifikaciju i primenu u svetskim razmerama dobio je USLE metod (*Universal Soil Loss Equation*), razvijen od strane američkih naučnika u okviru "Nacionalnog informacionog centra za oticanje i gubitke zemljišta za nauku i obrazovanje". Formula, prvi put objavljena 1958. godine, tokom narednih dvadeset godina je dopunjavana, a konačni rezultati objavljeni su 1978. godine. USLE metod, kasnije razvijan kroz modifikovane varijante RUSLE metoda (*Revised Universal Soil Loss Equation*) danas je u širokoj upotrebi i prema *International*

Soil and Water Conservation Society predstavlja primarno sredstvo konzervacije zemljišta u svrhu planiranja prostora (Manojlović, 2018).

Razvoj nauke i tehnologije je uticao na pojavu složenih i sofisticovanih erozionih modela, što je posebno došlo do izražaja primenom GIS-a (Geografski Informacioni Sistemi). Upotreba geoprostornih baza podataka predstavlja osnov za primenu modela (Mitasova et al., 2013). Jedan od glavnih izazova u sferi ovih istraživanja jeste određivanje optimalne rezolucije prilikom modeliranja erozionih procesa. Rezolucija predstavlja minimalnu linearnu dimenziju najmanje jedinice pojave ili procesa o kojima se prikupljaju podaci (Kukrika, 2000). Najmanja i osnovna gradivna jedinica prostora koja je predstavljena u rasterskom modelu jeste piksel (ćelija; eng. *cell-level*). U procesima modeliranja erozije zemljišta, rezolucija je definisana vremenskom rezolucijom (vremenskim koracima i trajanjem) i prostornom rezolucijom (površinom i obimom). Osnovni prostorni entitet koji je najzastupljeniji u stručnim i naučnim radovima jeste slivno područje, definisano topografskom vododelnicom. Sliv je ekosistemska jedinica u okviru koje se odvijaju različiti biološki, fizički, socijalni i ekonomski procesi, koja ima veliki značaj za upravljanje prirodnim procesima (Odum, 1953).

Procesima modeliranja mogu se opisivati, tipologizovati, otkrivati, objašnjavati i prognozirati procesi i pojave, u čemu važnu ulogu ima metod simulacije zasnovane na širokoj primeni računarske tehnologije. Odabir optimalnog modela za konkretnu namenu podrazumeva razmatranje sledećih faktora (Hajigholizadeh et al., 2018):

1. Potreban broj ulaznih parametara,
2. Konceptualni okvir primenljivosti modela,
3. Tačnost i validnost modela,
4. Upotrebljivost i osetljivost modela,
5. Komponente modela,
6. Mogućnost operativne upotrebe (eng. „*user-friendliness*“),
7. Ciljevi modela,
8. Raspon izlaznih rezultata,
9. Hardverski zahtevi za primenu modela.

Primena metoda modeliranja ima svoje prednosti i nedostatke. Pre svega, metode modeliranja imaju određen stepen neizvesnosti koji je u sprezi sa kvalitetom korišćenih ulaznih podataka neophodnih za primenu određenog modela. Sa druge strane, modeliranje ima široku

primenu u proračunu erozije produkcije pod uticajem klimatskih promena ili usled promene namena korišćenja zemljišta. Fizički zasnovani modeli su prikladniji za primenu na nivou slivnih područja, dok ih je na regionalnom nivou teško primenjivati jer obično zahtevaju veliki broj heterogenih ulaznih podataka. Erozioni modeli, kao jedan od najvažnijih alata u procesu determinisanja erozionog statusa područja, zahtevaju kvalitetne ulazne podatke o strukturi zemljišnog pokrivača, odnosno načina korišćenja zemljišta. Sa razvojem tehnologije proces determinisanja strukture zemljišnog pokrivača, značajno je unapređen korišćenjem sledećih postupaka: digitalizacijom georeferenciranih kartografskih podloga; korišćenjem pripremljenih i javno dostupnih globalnih baza podataka, koje su formirane korišćenjem satelitskih snimaka (CORINE Land Cover, GlobCover Land Cover Maps, Land Cover CCI project, GlobeLand30, European Urban Atlas i dr). Globalne baze podataka su uglavnom generisane pomoću satelitskih snimaka različitih prostornih rezolucija i vremenskih serija (Polovina, 2022).

4. Materijal i metod rada

4.1. Opis područja sliva Velikog Rzava

4.1.1. Geografski položaj

Sliv Velikog Rzava nalazi se u jugozapadnom delu Republike Srbije. Teritorijalno pripada Zlatiborskom (veći deo sliva) i Moravičkom upravnom okrugu. Prostire se kroz nekoliko opština: Nova Varoš, Arilje, Požega, Čajetina, Užice i Ivanjica. Zapadna granica sliva ograničena je padnima Zlatibora. Severna se prostire na oko 2 do 5 km od reke Đetinje, dok je istočna granica u gornjem delu praktično paralelna sa rekom Moravicom. Južna granica je u podnožju planine Čemerno. Kroz sliv prolazi regionalni put, od Užica i Bele zemlje na severu, do Ljubiša na jugu, odakle se nastavlja regionalni put do Zlatarskog jezera (Slika 3). Put ka Zlatarskom jezeru počinje u Arilju i vodi do naselja Visoko. Spajanjem Presečke reke i Bukovog potoka nastaje reka Rzav, a spajanjem Rzava i Bele reke nastaje Veliki Rzav. Od mesta formiranja na južnom delu sliva, reka teče ka severu, da bi između sela Brđani i Lazina promenila pravac ka istoku-jugoistoku, prema Arilju, i prema ušću u Moravicu. Rečna dolina je na nekim mestima usekla put kroz klisure i kanjone, a na nekim delovima protiče kroz "pitomije" delove terena. Njegova dužina, sa rekama od kojih nastaje, iznosi 66,6 km (Urošev, 2007) i predstavlja najdužu pritoku reke Moravice.

Sliv Velikog Rzava, do bujične pregrade "Ševelj", odnosno do vodozahvata za vodosnabdevanje, zahvata površinu od oko 566 km². U drugoj polovini prošlog veka započeta su istraživanja u cilju izgradnje akumulacije i brane za potrebe vodosnabdevanja. Tada su izvršena obimna istraživanja na širem prostoru, odnosno izvršena su istraživanja na slivu Velikog Rzava, do profila Svrčakovo. Iz Glavnog projekta brane i akumulacije "Arilje" na profilu Svrčakovo (1998. godina) u nastavku su dati osnovni elementi sliva reke Veliki Rzav na pomenutom profilu (Tabela 1).

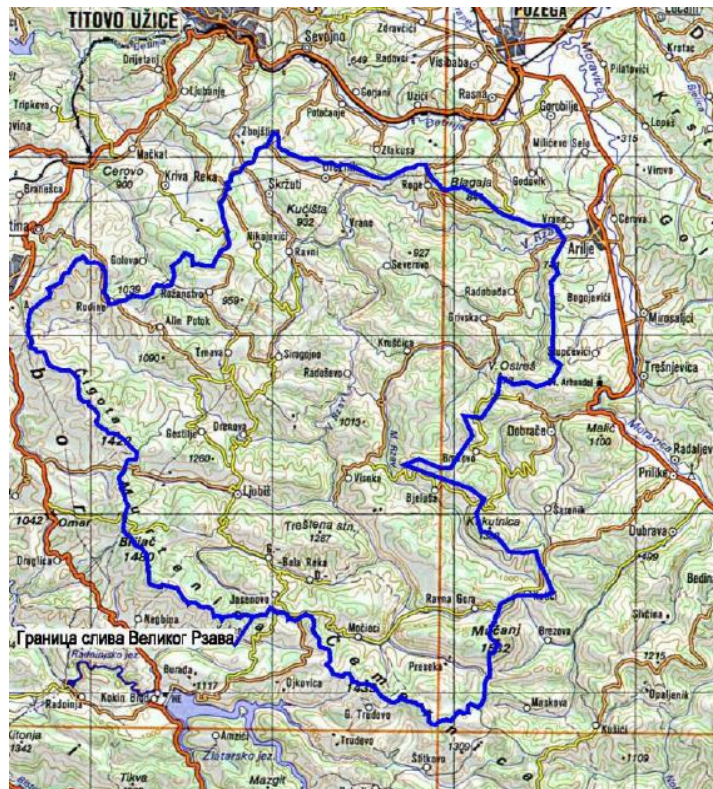
Tabela 1. Osnovni elementi sliva reke Veliki Rzav na profilu Svrčakovo (Energoprojekt-Hidroinženjering MDD, 1998)

| Vodotok | Profil | A | Ls | H _{max} | H ₀ | H _{max} -H ₀ | S |
|-------------|-----------|-----------------|------|------------------|----------------|----------------------------------|----|
| | | km ² | km | mnm | mnm | m | % |
| Veliki Rzav | Svrčakovo | 437 | 53.5 | 1320 | 372 | 948 | 18 |

A – površina sliva do budućeg profila brane,

L_s – Rastojanje od posmatranog progila do vododelnice sliva, mereno po glavnom toku,
 H_{max} – najviša tačka glavnog toka,
 H_0 – najniža tačka glavnog toka – profil buduće brane,
 S – pad uniformnog korita koje ima istu dužinu kao posmatrano korito.

Sliv Velikog Rzava prostire se na brdsko-planinskom terenu, ispresecanom brojnim rekama i potocima. Prema geomorfološkim karakteristikama, ovo je područje intenzivnog jaružanja i spiranja u smeni sa područjem razvoja kraškog procesa, i pojavama klisura, kanjona, ponora i pećina.



Slika 3. Sliv Velikog Rzava (Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, 2014)

Kote terena su od oko 1500 m.n.m. u južnom delu sliva (Mučanj - 1535 m.n.m., Javorić - 1486 m.n.m., Meljkov vrh - 1482 m.n.m.) do oko 338 m.n.m. kod bujične pregrade “Ševelj” koja je ujedno i najniža tačka posmatrane površine sliva.

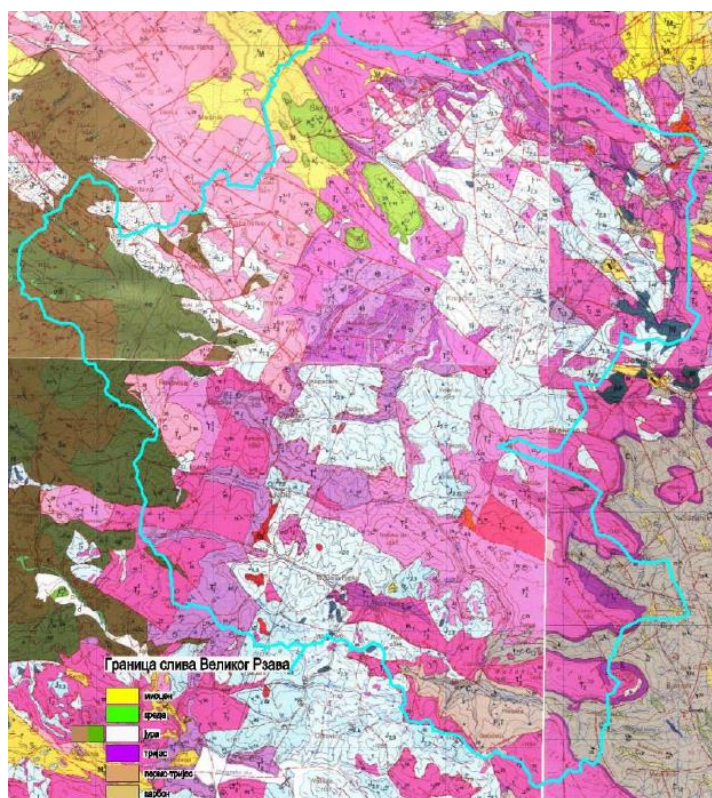
4.1.2. Klimatske karakteristike

Shodno geografskom položaju sliva Velikog Rzava, temeprturni režim ima sve odlike kontinentalnosti, dok se u hladnijoj polovini godine ispoljava maritimni uticaj na režim padavina. Kako razmatrani sliv ležu u planinskom području masiva Zlatibora sa relativno visokim

nadmorskim visinama, to pojedini meteorološki elementi i pojave pokazuju karakteristike planinske klime. Najbliža meteorološka stanica Republičkog hidrometeorološkog zavoda nalazi se u Požegi.

4.1.3. Geomorfološki oblici reljefa

Geološki sastav terena uglavnom odgovara stenama mezozojske starosti (trijas, jura i manji deo kreda) i delom stenama karbona i permo-trijasa (Slika 4). Miocen je zastupljen na severozapadnom delu sliva, male je rasprostranjenosi, a izgrađen je od konglomerata i peščara.



Slika 4. Geološka karta terena sliva Velikog Rzava (Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, 2014)

Sedimenti trijasa (na karti označeni nijansama ružičaste boje) zauzimaju najveći deo terena sliva. Javljaju se sva tri kata trijasa i predstavljeni su pretežno krečnjacima i dolomitima. Jedino donji trijas (na geološkoj karti - listu Užice), grade konglomerati, peščari, breče i alevriti. Trijaskе starosti su i vulkanogeni tufovi i breče u zoni Sirogojna. Jurski sedimenti se protežu središnjim delom sliva i predstavljeni su uglavnom krečnjacima, rožnacima, glincima i konglomeratima. Na severozapadu sliva, u zoni Rudina - jurski sedimenti su od dijabaz rožnačke

formacije a na zapadnoj granici sliva od serpentinita, lerzolitita i hacburgita. Kredni sedimenti javljaju se u zoni sela Skržuti i Ravni, a čine ih krečnjaci i laporci.

Permo-trijas se javlja na krajnjem jugu sliva, zauzima malu površinu i izgrađen je od konglomerata. Najstariji perm, takođe zahvata malu površinu na jugu sliva, sa konglomeratima Mučnja. Na jugoistoku perm je predstavljen grauvakama.

4.1.4. Pedološke karakteristike zemljišta

Uslovi formiranja zemljišta na proučavanom području određeni su, pre svega, geološkim sastavom i uslovima reljefa.

Reljef slivnog područja Velikog Rzava veoma je kupiran, izraženih grebena, strmih padina, dubokih i uskih dolina. Kao posledica krupnosti terena, topografske karakteristike su veoma izražene, a dominira nagib padina od 30 do 80% i više. Podlužni padovi tokova se kreću od 1,7% za Veliki Rzav, do 2-5% i više za pritoke. Velika kupiranost i razuđenost terena usloveli su česte i nagle promene ekspozicija planinskih strana, što ima direktnog uticaja na mikroklimu, vegetacioni pokrivač i erozione procese.

U navedenim uslovima formirana su plitka, skeletoidna i genetski nerazvijena zemljišta. Najzastupljenija su smeđe rudo zemljište na krečnjaku i dolomitu (kalkokambisol) i smeđe skeletoidno zemljište na škriljcima (Antić i sar., 1980).

Formiranje smeđeg zemljišta na krečnjaku i dolomitu (kalkokambisol) je tipično za ove predele, zato što se kalkokambisol obrazuje isključivo na tvrdim čistim krečnjacima ili dolomitima koji imaju manje od 1% nerastvorenog ostatka. Kalkokambisol u planinskim regionima zauzima najčešće srednje visinske pojaseve i srednje nagibe (Antić i sar., 1980), što je slučaj i u slivu Velikog Rzava. Za dubinu ovih zemljišta karakteristična je velika promenljivost, što je vezano za svojstvo karstifikovanih krečnjaka. Maksimalna dubina profila ne prelazi 60 cm, a prelaz zemljišta u stenu je oštar i neujednačen, jer stena mestimično izbija na površinu, a na bliskom rastojanju mogu da se jave pukotine kroz koje se zemljište prostire duboko u krečnjak. Dubina humusnog horizonta je veoma mala i ne prelazi 15 cm. Boja humusnog horizonta je tamnosmeđa, a struktura je zrnasta. Strukturni agregati veličine 3-5 mm imaju po površini sjajne koloidne prevlake i veoma su stabilni u vodi i prema mehaničkim uticajima. Ova zemljišta imaju teži granulometrijski sastav. Zbog sporog uspostavljanja stanja vlažnosti do poljskog kapaciteta, sposobnost konzerviranja vlage u ovom zemljištu je ispod nivoa koji se može očekivati s

obzirom na njegov granulometrijski sastav. Zato je režim vlažnosti ovog zemljišta dosta zavistan od spoljašnjih uslova koji regulišu priticanje i gubitak vode.

Karakteristika za sva zemljišta u slivu Velikog Rzava je da spadaju u grupu prelaznih zemljišta i u zavisnosti od reljefa sreću se svi stadijumi od početnih do dubljih, ali preovlađuju plitka skeletoidna, gde labilnu ravnotežu između stvaranja i degradacije održava samo vegetacija, koju najvećim delom čine hrastovo-grabove šume. Mestimično se sreću manje površine plodnijih zemljišta, koja se pod uslovom primene odgovarajuće agrotehničke i antierozione zaštite, mogu koristiti za njive i voćnjake.

4.1.5. Vegetacija istraživanog područja

Današnja prirodna vegetacija na području sliva Rzava predstavljena je sa dva osnovna vegetacijska tipa: šumama i travnatim (pašnjako-livadskim) zajednicama. U strukturi površina, šume učestvuju sa 35%, a livade i pašnjaci sa 42%, što očigledno ukazuje na stepen izmenjenosti nekadašnjeg, primarno šumskog predela. Sadašnji biljni pokrivač nosi veoma izražen pečat dugotrajnog antropogenog uticaja: šume su slabo očuvane, promenljivog florističkog sastava, većim delom lošeg kvaliteta ili degradirane, travnate površine su nastale na račun šuma, a na području su vršena i značajna pošumljavanja pretežno četinarskih kultura. Šumska vegetacija je predstavljena sa nekoliko osnovnih zajednica i to: lišćarskih, četinarskih i mešovitih, čiji položaj i rasprostranjenost je u zavisnosti od nadmorske visine, geološke podloge, pedološkog pokrivača i lokalnih ekoloških uslova, sa takođe značajnim antropogenim uticajem. Najniže delove područja, aluvijalne ravni i uski pojas oko rečnih korita zauzimaju mezofilne (hidrofilne) šume vrbe i jove, sa manjim učešćem hrasta lužnjaka, koje su površinski veoma malo zastupljene. Šume i šumsko zemljište na ovoj teritoriji pripadaju Tarsko-zlatiborskom šumskom području. Najzastupljenija vrsta drveća su lišćari sa 72,2% i to bukva 51,5%, cer 14,4%, bagrem 3,5%, ostalo su četinari 27,8%, pretežno crni bor (Jovanović, 1967).

U delu doline Velikog Rzava na prostoru planirane akumulacije „Svrackovo“, šumska vegetacija je najvećim delom predstavljena formacijom šibljacka (grabića, crnog jasena, crnog graba i drugih vrsta), hrastovim sastojinama u kojima preovlađuju izdaničke, delom degradirane šume nad visokim sastojinama, a na pojedinim delovima i bukovim šumama, kao i pojasom priobalne vegetacije (vrba, jova).

4.1.6. Način korišćenja zemljišta – namena površina

Zemljišni pokrivač i namena površina predstavljaju dinamičke faktore koji se menjaju pod uticajem socijalnih i bio-fizičkih elemenata (Karsidi, 2004). Pored toga što se termini zemljišni pokrivač i namena površina, odnosno način korišćenja zemljišta često koriste naizmenično, njihovo stvarno značenje je prilično različito. Zemljišni pokrivač (eng. land cover) predstavlja biofizički pokrivač na površini Zemlje, bilo da je u pitanju vegetacija, urbana infrastruktura, voda, golet i dr. (Gomez et al., 2016). Namena površina ili način korišćenja zemljišta (eng. land use) odnosi se na vrstu upotrebe zemljišnog pokrivača (Alam et al., 2019). Osnovna razlika je sadržana u činjenici da termin zemljišni pokrivač predstavlja fizičku pokrivenost različitim prostornim elementima dok namena površine (način korišćenja zemljišta) zapravo izražava potrebnu vrednost od strane čoveka (Radić, 2019).

U pogledu strukture i načina korišćenja, sva zemljišta u proučavanom slivu pripadaju sledećim grupama: poljoprivrednom, šumskom i vodnom zemljištu. Prema strukturi vlasništva poljoprivrednog zemljišta, oko 95% se nalazi u privatnom vlasništvu. U većini se zasniva na individualnom sektoru i usitnjenom posedu. U ukupno 87 domaćinstava živi 222 stanovnika i velika većina se bavi poljoprivredom i poslovima u šumarstvu. Brdsko-planinski reljef odlikuje izdiferenciranost prirodnih uslova za razvoj poljoprivrede, gde u kompleksima poljoprivrednih površina dominiraju voćarske kulture (maline, kupine, jabuke i šljive) i livade, odnosno prirodni travnjaci. Celokupan prostor brdsko-planinskog dela predeono je vrlo atraktivan, tako da se, pored voćarstva i stočarstva, razvija i seoski turizam.

Bez posebnih ograničenja može se gazdovati šumskim i poljoprivrednim zemljištem, pod uslovom da se kod obradivih površina promene u obimu i načinu korišćenja ograničavaju na redovni plodored, a kod šumskog zemljišta na postojeći obim i strukturu šume (Prostorni plan područja izvorišta vodosnabdevanja regionalnog podsistema Rzav, 2004).

4.2. Metod Potencijala erozije

Istorijski posmatrano, prvi metodološki iskorak u kvantifikaciji erozionih procesa u Republici Srbiji dao je inženjer šumarstva prof. dr Slobodan Gavrilović uvodeći 1952. godine u istraživački postupak *metod erozionih parcela* za praćenje intenziteta mehaničke vodne erozije. Prve oglede ove vrste postavio je Institut za vodoprivredu pod rukovodstvom S. Gavrilovića u slivu Ripe, u ataru sela Ripanj (Gavrilović, 1972). Sveobuhvatna istraživanja rezultirala su

uspostavljanjem novog empirijskog metoda za proučavanje mehaničke vodne erozije poznatog kao *Metod Gavrilović S.*, u inostranoj literaturi definisan kao *Erosion Potential Model (EPM)*. Potstaknut ovim istraživanjima prvi geomorfolog koji se počeo baviti istraživanjima mehaničke vodne erozije prof. dr Radenko Lazarević razvija metod i daje osnovnu šemu za eksperimentalno istraživanje intenziteta vodne erozije. Program izgradnje eksperimentalnih stanica prihvatile su referentne institucije, a realizaciju Institut za šumarstvo i drvnu industriju - Odeljenja za eroziju i melioracije. Prva eksperimentalna stanica postavljena je u Boleču 1966. godine, a potom i stanice Ralja, Rudnik, Vlasina, Gučevo, Rujak, Sremčica, Surdulica, Bor, Majdanpek, Mramor, Božurnja i Snagovo (Manojlović, 2018). Značaj eksperimentalnih stanica u metodološkom smislu bio je taj što je R. Lazarević razvio *program koji je konceptijski bio baziran na diferencijalnoj genetskoj analizi osnovnih faktora* od kojih zavisi proces vodne erozije. Pri tome, uspostavio je modifikaciju Metoda Gavrilović S. koja se zasnivala na analitičkom određivanju relevantnih parametara Z koeficijenta, i uspostavio sintezni pristup u određivanju istog čime je omogućeno brže i lakše određivanje datog koeficijenta naročito za veće teritorije (Lazarević, 1985).

Ova metoda je pokazala visok stepen pouzdanosti i koristi se kao standardna metoda za kartiranje erozije za vodoprivredne potrebe (proračuni zasipanja rečnih tokova, kanalske mreže i akumulacija). Do sada je tom metodom kartirana celokupna teritorija Republike Srbije i značajni delovi bivših jugoslovenskih republika (Gavrilović, 2001).

Korišćenjem empirijskog modela profesora Gavrilovića, intenziteti erozije svrstani su u pet osnovnih kategorija (Tabela 2), prema vrednostima koeficijenta erozije (Z) (Gavrilović, 1962):

Tabela 2. Kategorizacija erozije prema vrednosti koeficijenta erozije

| Kategorija erozije | Raspon vrednosti | Kvalitativni naziv kategorije |
|--------------------|------------------|-------------------------------|
| I | $Z > 1,0$ | Ekscesivna |
| II | $0,71 < Z < 1,0$ | Jaka |
| III | $0,41 < Z < 0,7$ | Srednja |
| IV | $0,20 < Z < 0,4$ | Slaba |
| V | $Z < 0,19$ | Vrlo slaba |

Metod koristi sledeće kvantitativne faktore životne sredine: geološke i pedološke karakteristike, zemljišni pokrivač, koeficijent vidljivih tragova erozije, klimatske činioce (srednja godišnja temperatura i srednje godišnje padavine) i topografski faktor. Na osnovu ovih faktora, proračunava se koeficijent erozije (Z), ukupna i srednja godišnja produkcija erozionog materijala (W_{god}), kao i srednja godišnja zapremina ukupnih količina vučenog i suspendovanog nanosa (G_{god}). Prema ovoj metodi ukupna godišnja produkcija erozionog materijala se računa prema formuli (Gavrilović, 1972):

$$W_{god} = T \cdot H_{god} \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot A$$

W_{god} – ukupna produkcija erozionog materijala na slivu [$m^3 \cdot god^{-1}$];

T – temperaturni koeficijent područja;

H_{god} – srednja godišnja količina padavina [mm];

π – 3,14;

Z – koeficijent erozije;

A – površina slivnog područja [km^2]

Ukupna produkcija erozionog materijala se definiše kao gubitak zemljišnog materijala usled dejstva erozionih faktora, izražen u metrima kubnim za posmatrani period na datom području (Dragičević, 2016). Ukupna produkcija erozionog materijala, može da se izrazi kao i specifična vrednost (po kilometru kvadratnom istraživanog područja) prema formuli (Gavrilović, 1972):

$$W_{godsp} = \frac{W_{god}}{A}$$

W_{godsp} – specifična produkcija erozionog materijala na slivu [$m^3 \cdot km^{-2} \cdot god^{-1}$]

Primarni cilj primene Metode Potencijala erozije jeste proračun ponderisane vrednosti za svaki faktor, čime on postaje merodavan parametar za celokupno slivno područje.

4.2.1. Temperaturni koeficijent područja (T)

Temperaturni koeficijent područja se izračunava prema formuli (Gavrilović, 1972):

$$T = \sqrt{\frac{t}{10} + 0,1}$$

t – srednja godišnja temperatura vazduha na istraživanom području [$^{\circ}C$]

Srednja godišnja temperatura vazduha se dobija na osnovu podataka merenja sa obližnjih meteoroloških stanica, ili preko karata izoterma istraživanog područja.

4.2.2. Srednja godišnja količina padavina (Hgod)

Srednja godišnja količina padavina je značajan parametar u proučavanju pojave i intenziteta erozionih procesa. Vrednosti srednje godišnje količine padavina se generišu na osnovu baze podataka sa više kišomernih (padavinskih stanica) na istraživanom području ili u neposrednoj blizini.

4.2.3. Koeficijent erozije (Z)

Metod Potencijala erozije sastoji se od analitičke obrade podataka o činiocima koji utiču na eroziju. Kako je erozija zemljišta prostorna pojava, u dvodimenzionalnom referentnom sistemu (npr. kartografskom prilogu) se prikazuje prema klasifikaciji na osnovu analitički izračunatog koeficijenta erozije (Z). Koeficijent nije u zavisnosti od klimatskih karakteristika, već isključivo od karakteristika pedoloških i/ili geoloških formacija, vegetacionog pokrivača, reljefa i vidljive zastupljenosti erozionih procesa.

Koeficijent erozije (Z) se izračunava primenom sledećeg matematičkog izraza (Gavrilović, 1972):

$$Z = Y \cdot X \cdot a \cdot (\varphi + \sqrt{I_{sr}})$$

Y – recipročna vrednost koeficijenta otpora zemljišta na eroziju;

X · a – koeficijent uređenja sliva ili područja;

φ – brojni ekvivalent vidljivih i jasno izraženih procesa erozije na slivu;

I_{sr} – srednji pad sliva.

Prema vrednostima koeficijenta erozije, erozioni procesi se mogu svrstati u različite kategorije (Gavrilović, 1972). Vrednost koeficijenta Z se kreće u opsegu od 0,1 do 1,5.

4.2.4. Koeficijent otpora zemljišta na eroziju (Y)

Koeficijent otpora zemljišta na eroziju (Y) zavisi od klimatskih uslova sredine, geološke podloge i tipova pedoloških tvorevina. Vrednosti koeficijenta Y su primarno determinisane u Laboratoriji za bujice i eroziju, Odseka za eroziju i melioracije Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

(Gavrilović, 1972). Vrednosti se odnose na otpornost stenskih masa i zemljišnih tvorevina na proces „bombardovanja“ kišnim kapima, kao i na otpornost zemljišnih čestica na površinski oticaj i eolsku eroziju. Prema originalnoj metodi, vrednosti koeficijenta se kreću od 0,25 za gole i kompaktne stene do 2,0 za nevezana zemljišta.

4.2.5. Koeficijent uređenja sliva ($X \cdot a$)

Koeficijent uređenja sliva i/ili njemu pripadajućeg erozionog područja, odnosi se na zaštićenost zemljišta od uticaja atmosferskih činilaca i erozije. Ovaj koeficijent se sastoji od dva faktora, od prvobitne ili „neizmenjene“ strukture površina („X“) i stepena uređenosti u uslovima pre i posle primene protiverozionih radova („a“). Vrednosti prema Gavriloviću se kreću od 0,05 do 1,0 (Gavrilović, 1972). Vrednost ovog parametra se može dobiti na više načina: od najviše primenjivane CLC (CORINE Land Cover) baze podataka o načinu korišćenja zemljišta do primene metoda daljinske detekcije.

4.2.6. Koeficijent vidljivih i jasno izraženih erozionih procesa (ϕ)

Koeficijent ϕ predstavlja brojni ekvivalent vidljivih i jasno izraženih procesa erozije na slivu ili ugroženom području. Prema originalnoj metodi, vrednosti faktora se kreću od 0,1 (područja bez vidljivih tragova erozije) do 1,0 (područja koja su zahvaćena dubinskom erozijom) (Gavrilović, 1972).

4.2.7. Srednji nagib terena (Isr)

Srednji nagib terena (Isr) predstavlja topološku karakteristiku sliva, odnosno erozionog područja ili ugrožene parcele zemljišta, za koju se određuje koeficijent erozije (Z). Prema originalnoj metodologiji, srednji nagib terena predstavljen je ponderisanom aritmetičkom sredinom površina između dve izohipse (Gavrilović, 1972).

5. Rezultati i diskusija

Za potrebe ovoga rada, degradacija zemljišta na istraživanom području analizirana je primenom prethodno pomenute metode Potencijala erozije. Analize koje se odnose na prostornu zastupljenost erozije zemljišta i utvrđivanje vrednosti kriterijuma za procenu erozije zemljišta, dobijeni su primenom softvera ArcMap 10.8. U prethodnom poglavlju opisani su faktori koji utiču na vrednost koeficijenta Z, odnosno koeficijent erozije na analiziranom slivu, kao i faktori koji utiču na ukupnu produkciju erozionog materijala na slivu.

5.1. Koeficijent otpora zemljišta na eroziju (Y)

Na osnovu opisane metode neophodno je pravilno determinisati koeficijent otpornosti zemljišta na eroziju Y. Otpornost zemljišta na eroziju zavisi od geoloških i pedoloških karakteristika istraživanog područja. Usled promenljive debljine zemljišnog sloja, naročito na strmijim terenima, neophodno je sagledati pored pedološke i geološku podlogu, i u skladu sa tim definisati vrednosti koeficijenta određenom prostornim jedinicama. Za potrebe ovog rada korišćene su vrednosti koeficijenta otpora različitih tipova zemljišta na eroziju koje su proučene i utvrđene u Laboratoriji za bujice i eroziju Odseka za eroziju i melioracije Šumarskog fakulteta u Beogradu (Tabela 3). Ove vrednosti dodeljene su u formi atributa digitalizovanoj pedološkoj karti.

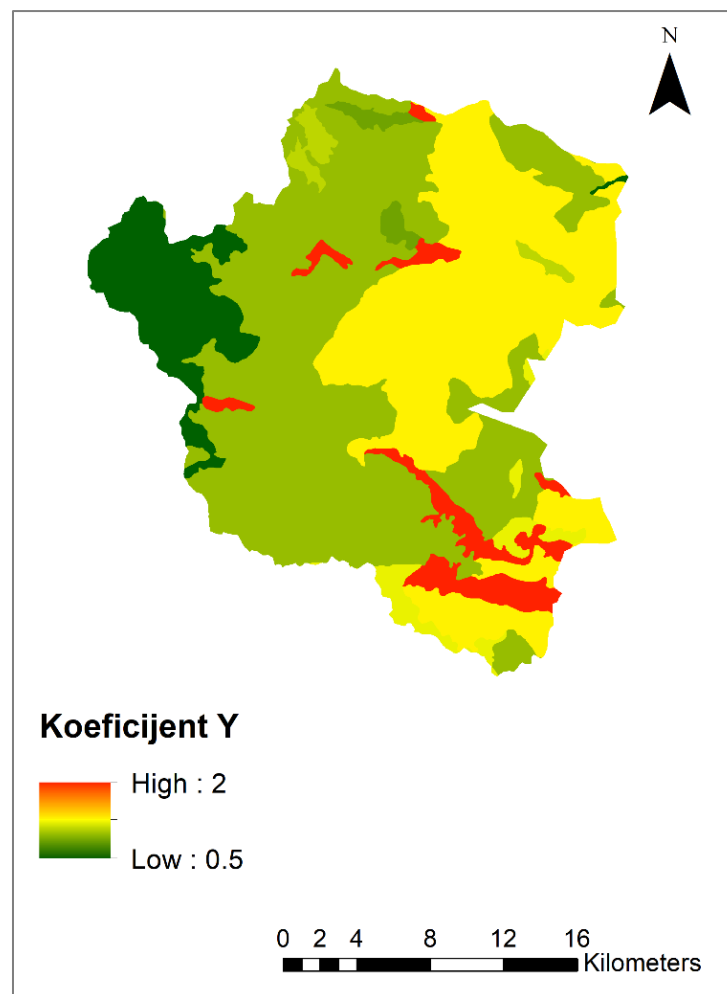
Tabela 3. Vrednost koeficijenta otpora različitih tipova zemljišta na eroziju

| Tipovi zemljišne tvorevine i srodne vrste | | Srednji koeficijent Y |
|---|---|-----------------------|
| 1. | Pesak, šljunak i nevezana zemljišta | 2,0 |
| 2. | Les, tufovi, slatine, stepska zemljišta i sl. | 1,6 |
| 3. | Raspadnuti krečnjaci i laporci | 1,2 |
| 4. | Serpentini, crveni peščari, flišne naslage | 1,1 |
| 5. | Podzoli i parapodzoli, raspadnuti škrljci, mikašisti i sl. | 1,0 |
| 6. | Jedri i škrljasti krečnjaci, crvenice i humusno silikatno zemljište | 0,9 |
| 7. | Gajnjače i planinska zemljišta | 0,8 |
| 8. | Smonice, ritske oranice i močvarna zemljišta | 0,6 |
| 9. | Černozem i aluvijalni nanos dobre strukture | 0,5 |
| 10. | Goli, kompaktni eruptivi | 0,25 |

Tabela 4 prikazuje pedologija sa geologijom istraživanog područja sa dodeljenim vrednostima koeficijenta Y, dok je na Slici 5 data prostorna distribucija koeficijenta otpornosti zemljišta na eroziju (Y).

Tabela 4. Koeficijent Y istraživanog područja

| Tip pedologije sa geologijom | Koeficijent Y |
|---|---------------|
| Aluvijalni nanos ilovasti | 0,5 |
| Crnica na serpentinu | 0,5 |
| Smeđe rudo na krečnjaku (mestimično lesivirano) | 0,8 |
| Smeđe rudo na krečnjaku | 0,9 |
| Parapodzol (pseudoglej) | 1 |
| Skeletno na krečnjaku (karst) | 1,1 |
| Smeđe skeletoidno na peščaru | 1,1 |
| Smeđe skeletoidno na škriljcima | 1,2 |
| Skelet (kamenjar) | 2 |



Slika 5. Prostorna distribucija koeficijenta otpornosti zemljišta na eroziju (Y)

5.2. Koeficijent uređenja sliva (X·a)

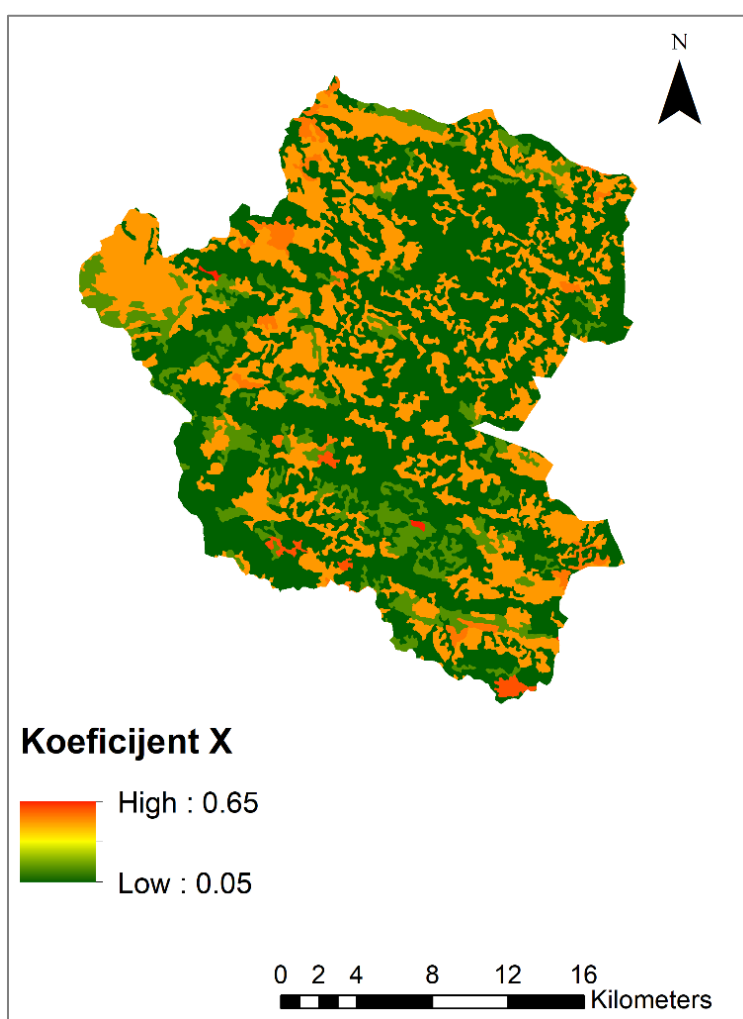
Vrednosti načina korišćenja zemljišta Xa su u formi atributa dodeljene modifikovanoj CORINE bazi podataka za istraživano područje. Koeficijent uređenja sliva ili erozionog područja odnosi se na zaštićenost zemljišta od uticaja atmosferilija i sila erozije prirodnim uslovima, vegetacijom i slično (koeficijent X), ili veštački stvorenim uslovima, antierozionim tehničkim ili biološkim radovima u slivu ili području (koeficijent „a“) (Tabela 5). Obzirom da je za koeficijent „a“ neophodno izvršiti terenska istraživanja, za potrebe ovog master rada, usvojeno je da njegova vrednost iznosi 1.

Tabela 5. Koeficijent uslova koji utiču na uređenje sliva

| Uslovi koji utiču na vrednost koeficijenta Xa | | Srednja vrednost | | |
|---|---|------------------|------|------|
| <i>Sliv ili područje pre antierozionih radova</i> | | X | a | X a |
| 1. | Potpuno golo, neobrađeno zemljište (goleti) | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 2. | Oranice sa oranjem uz i niz padinu | 0,9 | 1,0 | 0,9 |
| 3. | Voćnjaci i vinogradi bez prizemne vegetacije | 0,7 | 1,0 | 0,7 |
| 4. | Planinski pašnjaci i suvati | 0,6 | 1,0 | 0,6 |
| 5. | Livade, detelišta i slične poljoprivredne kulture | 0,4 | 1,0 | 0,4 |
| 6. | Degradirane šume i šikare sa erodiranim zemljištem | 0,6 | 1,0 | 0,6 |
| 7. | Šume i šikare dobrog sklopa i obrasta | 0,05 | 1,0 | 0,05 |
| <i>Sliv ili područje posle antierozionih radova</i> | | X | a | X a |
| 1. | Oranice sa konturnim oranjem | 0,9 | 0,7 | 0,63 |
| 2. | Oranice dobre nege i zaštićene malčiranjem | 0,9 | 0,6 | 0,54 |
| 3. | Konturno-pojasna obrada sa plodoredom (oranice) | 0,9 | 0,5 | 0,45 |
| 4. | Konturni voćnjaci i vinogradi | 0,7 | 0,45 | 0,32 |
| 5. | Terasiranje oranica, terase i gradoni | 0,9 | 0,4 | 0,36 |
| 6. | Zatravljanje golih zemljišta i melioracije pašnjaka i suvat | 0,6 | 0,5 | 0,3 |
| 7. | Izrada konturnih rovova srednje gustine | 0,6 | 0,4 | 0,24 |
| 8. | Retardacioni vodoputevi, mikroakumulacije | 0,9 | 0,3 | 0,27 |

| | | | | |
|-----|---|-----|-----|-----|
| 9. | Obično pošumljavanje na jame ili na pruge | 1,0 | 0,2 | 0,2 |
| 10. | Pošumljavanje na gradonima | 1,0 | 0,1 | 0,1 |
| 11. | Uređivanje korita vodotokova tehničkim objektima: kanalisanje, kinetiranje, izgradnja pregrada, gabiona i sl. | 1,0 | 0,7 | 0,7 |

Vrednost $X \cdot a$ kreće se u rasponu od 0,05 do 0,65, sa prosečnom vrednošću od 0,42 (Slika 6). Vrednosti koeficijenta $X \cdot a$ su primenjene prema originalnoj metodologiji Gavrilovića (Gavrilović, 1972), i dodeljivane su u formi atributa kartama zemljišnog pokrivača.



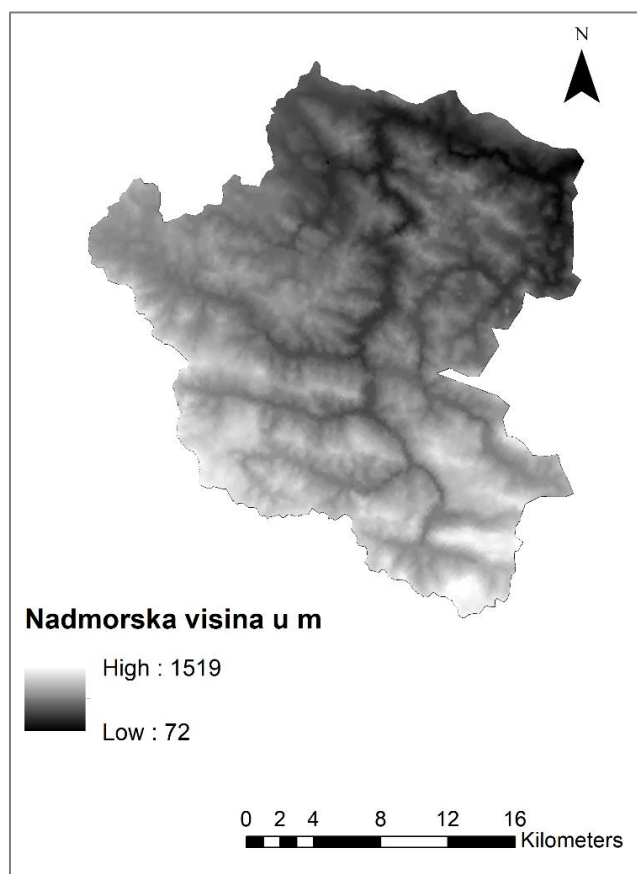
Slika 6. Prostorna distribucija koeficijent uređenja sliva ($X \cdot a$)

5.3. Koeficijent vidljivih i jasno izraženih erozionih procesa (ϕ)

Na osnovu analize Elaborata o zonama sanitarne zaštite izvorišta regionalnog vodosistema za prvu fazu i prvu etapu, na otvorenom vodotoku reke “Rzav” – zona privremenog vodozahvata bujičarske pregrade “Ševelj”, koji je izradio Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi” (2014), i opisanih erozionih procesa koji su zastupljeni na proučavanom slivu, usvojeno je koeficijent erozije na nivou celog sliva koji iznosi 0.39.

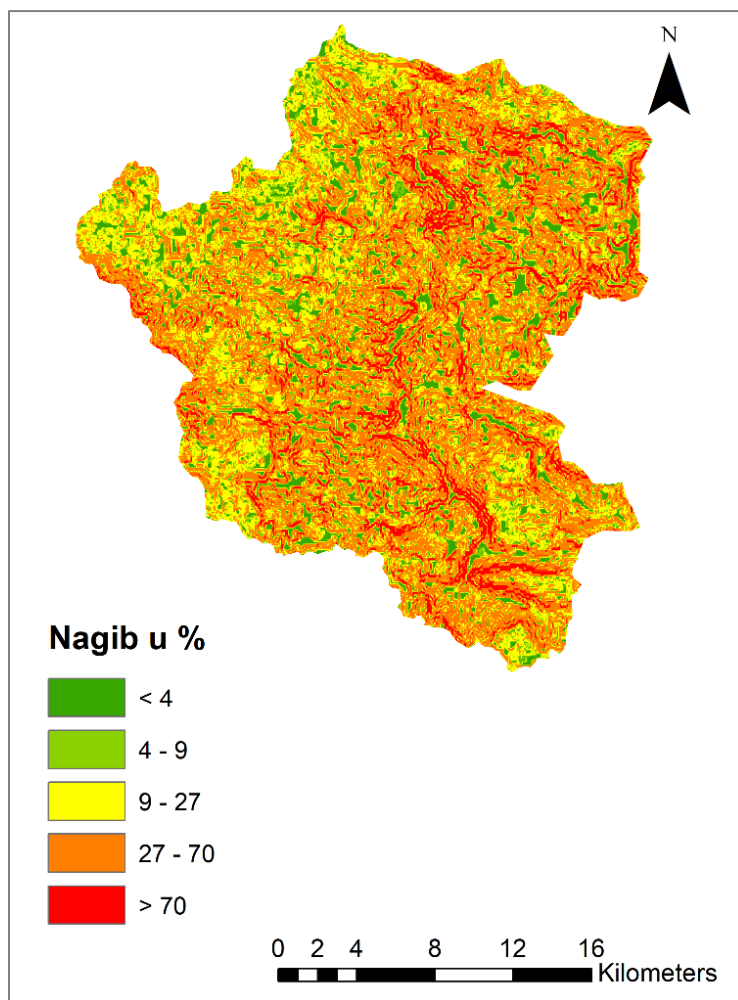
5.4. Srednji nagib terena (Isr)

Reljef ima značajan uticaj na razvoj erozionih procesa, naročito kod vodne erozije. Količina i brzina površinskog oticanja od kojeg najviše zavisi intezitet erozije zavisi od karaktera i oblika reljefa (Kostadinov, 2008). Analiza reljefa za ovaj rad dobijena je na osnovu DMT (digitalni model terena) rezolucije 10 m. Najniža tačka u slivu iznosi 72 m.n.m. i nalazi se u doline reke Veliki Rzav i ostalih reka u slivu. U jugoistočnom delu sliva, nalazi se najviša tačka u slivu koja iznosi 1519 m.n.m. Srednja nadmorska visina iznosi 890 m.n.m. (Slika 7).



Slika 7. Prostorna raspodela nadmorskih visina na slivu reke Veliki Rzav

Srednji pad sliva Isr je izveden iz DMT-a i izražen u formi rasterske baze podataka. Prostorni raspored istraživanog područja prikazan je na Slici 8, dok je klasifikacija nagiba sa površinom zastupljenosti prema IGU (International Geographical Union, 1968) prikazana u Tabeli 6.



Slika 8. Prostorna distribucija nagiba terena na istraživanom području

Tabela 6. Klasifikacija nagiba terena (prema IGU, 1968)

| Kategorija | Nagib (%) | Karakteristike | Površina | |
|------------|-----------|--|-----------------|------|
| | | | km ² | % |
| I | 0 – 4 | Nema vidljivih tragova kretanja mase, Površinsko spiranje svedeno na minimum | 49,9 | 8,8 |
| II | 4 – 9 | Vidljive su pojave kretanja, Izraženo je spiranje, tečenje i kliženje tla | 42,8 | 7,6 |
| III | 9 – 27 | Snažna erozija, | 150,5 | 26,6 |

| | | | | |
|--------|---------|--|-------|------|
| | | Intezivno spiranje i pokreti masa | | |
| IV | 27 – 70 | Veoma snažna erozija, Pojačano spiranje i odnošenje materijala | 262,5 | 46,4 |
| V | > 70 | Pokreti masa toliko su izraženi da se akumulacioni materijal tek mestimično zadržava, javljaju se pretežno ogoljene stenovite površine | 60,2 | 10,6 |
| Ukupno | | | 566 | 100 |

Vrednost nagiba terena na istraživanom području kreću se u rasponom vrednosti od 0 do preko 70%. Prema Tabeli 5, i datoj klasifikaciji, nagibi četvrte kategorije zauzimaju površinu od 46,4% od ukupne istraživane površine. Karakteristična pojave kod ove kategorije nagiba je veoma snažna erozija, sa pojačanim spiranjem i odnošenjem materijala.

5.5. Koeficijent erozije (Z)

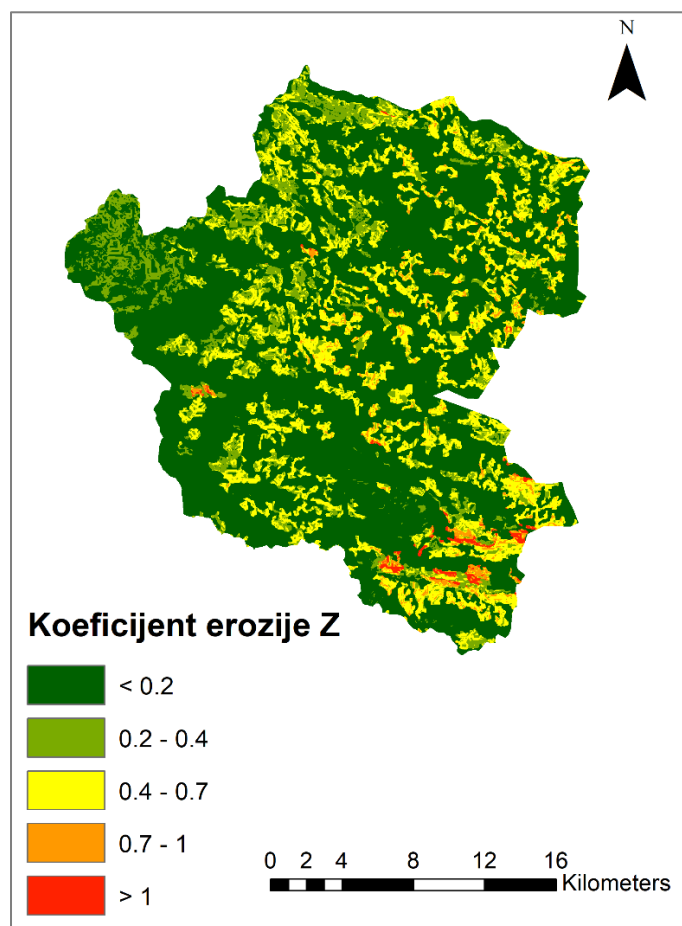
Nakon dodeljivanja vrednosti određenim elementima, izvršena je konverzija u rasterski format rezolucije 10 m gde su atributne vrednosti Y i Xa bile kriterijum za konverziju u rastersku bazu. Rasterska baza podataka postaje adekvatna za potrebu izračunavanja koeficijenta erozije Z prema već prikazanoj formuli. Dobijeni rezultat zasnovan je na pikselima gde svaki piksel prikazuje vrednost koeficijenta erozije Z. Karta erozije prikazuje prostornu raspodelu erozionih procesa i pruža nam uvid u stanje njenog inteziteta i karaktera. Na istraživanom slivu, se manifestuje u tri vidljiva pojavna oblika. U Tabeli 7 je prikazana rasprostranjenost i intezitet erozije.

Tabela 7. Zastupljenost kategorija erozije na slivu reke Veliki Rzav

| Kategorija | Zastupljenost | |
|--------------------|-----------------|-------|
| | km ² | % |
| Vrlo slaba erozija | 382,72 | 67,62 |
| Slaba erozija | 68,78 | 12,15 |
| Srednja erozija | 99,93 | 17,65 |
| Jaka erozija | 11,35 | 2,01 |
| Ekscesivna erozija | 3,22 | 0,57 |
| Ukupno | 566 | 100 |

Prema opštoj razvijenosti erozionih procesa slivno područje se po metodi Potencijala erozije, može svrstati pod slabom erozijom, sa prosečnim koeficijentom erozije $Z=0,196$. Procesii ekscesivne erozije javljaju se na površini od 3,22 km² tj. na 0.57% površine sliva. Ovi procesi

erozije su prisutni uglavnom u donjem delu sliva. Jaka erozija se prostire na 11,35 km², takođe u donjem delu sliva gde se prostire i ekscesivna. Srednji intezitet erozije je prisutan na 99,93 km² odnosno 17,65% površine sliva. Intezitet slabe erozije prostire se na 68,78 km², odnosno 12,15% površine sliva. Najveću zastupljenost od 382,72 km² ili 67,62% površine sliva pripada vrlo slaboj eroziji. Pomenuti intenzitet je dominantan na celom slivu, što je i slikovito prikazano na Slici 9.



Slika 9. Prostorna raspodela koeficijenta erozije Z

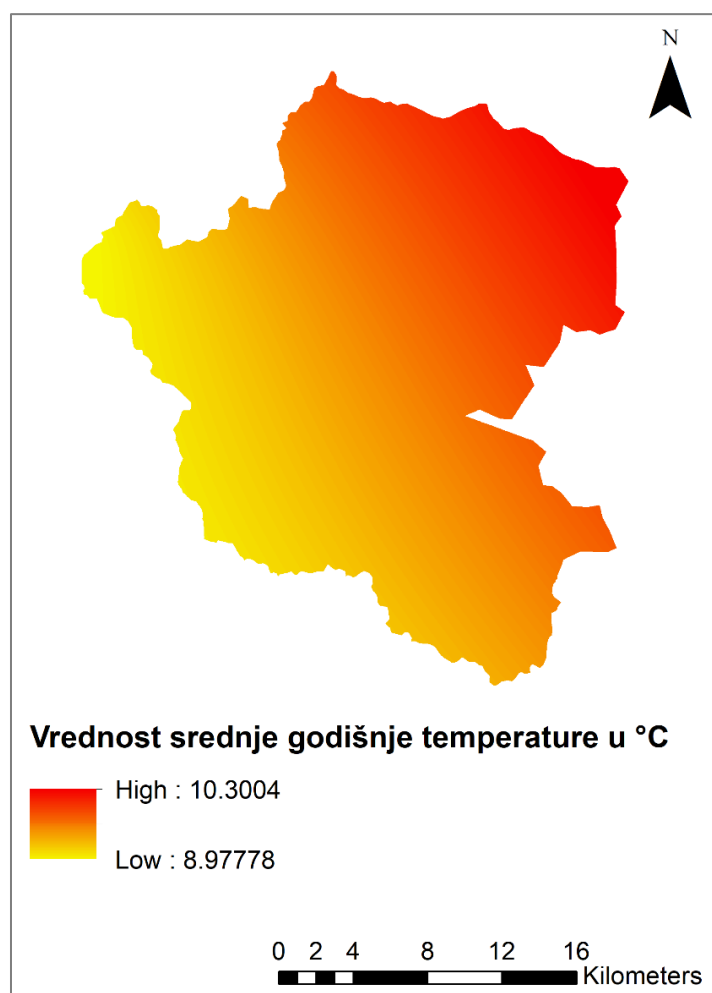
5.6. Temperaturni koeficijent i srednja godišnja količina padavina

Za potrebe ovog rada, vrednosti temperaturnog koeficijenta područja i srednje godišnje količine padavina dobijene su na osnovu obrade podataka sa 5 meteoroloških stanica koje se nalaze u okolini istraživanog područja, a to su Požega, Užice, Zlatibor, Sjenica i Kraljevo. Koordinate mernih stanica prikazane su u Tabeli 8. Klimatski podaci su preuzeti sa sajta Republičkog Hidrometeorološkog Zavoda Republike Srbije (RHMZ) od 1991. do 2021. godine.

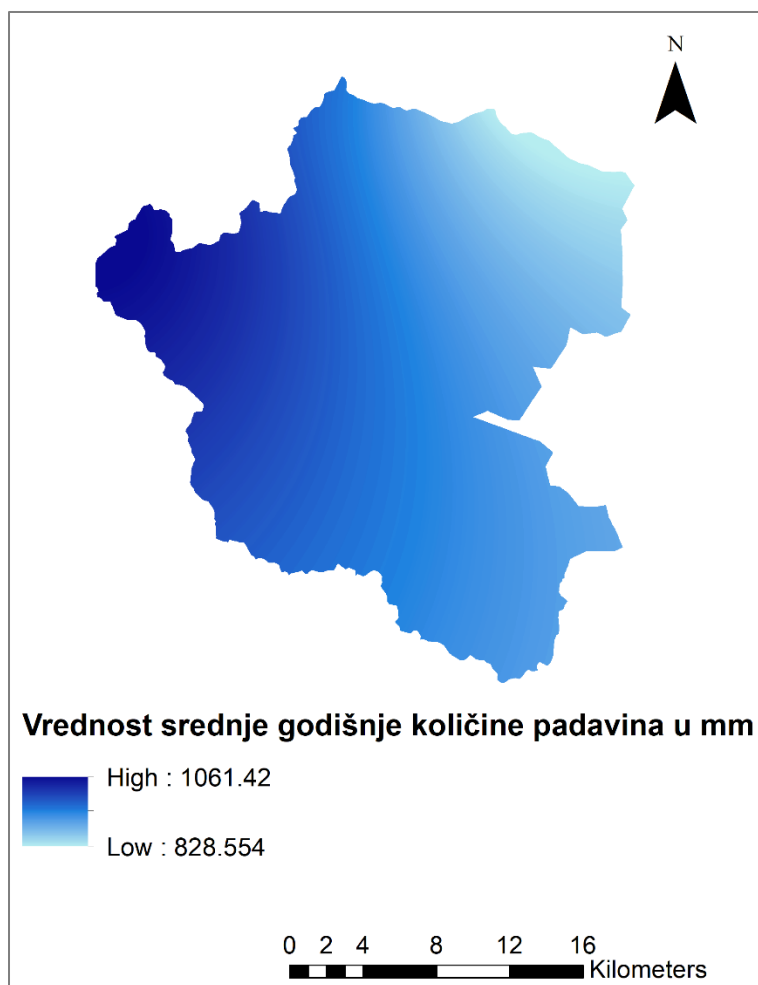
Prostorna distribucija vrednosti srednje godišnje temperature (Slika 10) određena je pomoću ArcMap 10.8. softvera, primenom geostatističke metode interpolacije Empirical Bayesian Kriging, dok je za srednju godišnju količinu padavina (Slika 11) korišćena geostatistička metoda interpolacije Inverse Distance Weighting (IDW).

Tabela 8. Merne stanice sa koordinatama

| Merna stanica | Koordinate | | Nadmorska visina (m) |
|---------------|------------|---------|----------------------|
| | širina | dužina | |
| Požega | 43° 51' | 20° 02' | 311 |
| Užice | 43° 53' | 19° 50' | 822 |
| Zlatibor | 43° 44' | 19° 43' | 1029 |
| Sjenica | 43° 16' | 20° 00' | 1038 |
| Kraljevo | 43° 43' | 20° 42' | 219 |



Slika 10. Prostorna raspored vrednosti srednje godišnje temperature



Slika 11. Prostorna raspored vrednosti srednje godišnje količine padavina

Prosečna godišnja količina padavina na istraživanom području iznosi 949,13 mm. Najmanja prosečna količina padavina zabeležena je na meteorološkoj stanici Požega i iznosi 776,36 mm, dok je najveća količina padavina izmerena na meteorološkoj stanici Zlatibor i iznosi 1062,08 mm. Prosečna srednja godišnja temperatura vazduha iznosi 9,55 °C. Temperaturni koeficijent preračunat je prema formuli koja je data u 4.2.1. i iznosi 1.02.

5.7. Procena gubitaka zemljišta prema Metodi Potencijala erozije

Ukupna produkcija erozionog materijala prema metodi prof. Gavrilovića (metodologija prikazana u poglavlju 4.2.) proračunava se na osnovu napred definisanih parametara (T, Hgod, Z). Ukupna produkcija erozionog materijala za istraživano područje iznosi $W_{god}=149.298,711 \text{ m}^3 \cdot \text{god}^{-1}$, dok je specifična produkcija $W_{godsp}=263,78 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{god}^{-1}$.

Poređenja radi, Polovina i sar. (2016) su ispitivali prostornu i vremensku analizu degradacije prirodnih resursa na slivu reke Likodre. Sliv reke Likodre se za razliku od sliva reke Veliki Ržav nalazi severozapadno u Republici Srbiji i zauzima površinu od 140,38 km². Prema opštoj razvijenosti erozionih procesa slivno područje se po metodi Potencijala erozije, može svrstati pod slabom erozijom, sa prosečnim koeficijentom erozije $Z=0,204$. Proces ekscesivne erozije javljaju se na površini od 0,12 km² tj. na 0.09% površine sliva. Ovi procesi erozije su prisutni uglavnom u donjem delu sliva, u aluvijalnom delu reke Likodre na parcelama gde je kompleks agrarnih prostora. Jaka erozija se prostire na 0,86 km², takođe u donjem delu sliva gde se prostire i ekscesivna. Srednji intenzitet erozije je prisutan na 23,94 km² odnosno 17,06% površine sliva. Javlja se pretežno na poljoprivrednom zemljištu i na kompleksu agrarnih prostora. Slaba erozija se javlja samo na agrošumskom prostoru, a to su poljoprivredne parcele sa većim učešćem elemenata prirodne vegetacije. Intenzitet slabe erozije prostire se na 38,2 km², odnosno 27,22% površine sliva. Najveću zastupljenost od 77,2 km² ili 55,02% površine sliva pripada vrlo slaboj eroziji. Pomenuti intenzitet je dominantan na celom slivu, uglavnom pod listopadnim degradiranim šumama.

6. Zaključak

Erozija zemljišta je složen postepeni proces koji nastaje pod uticajem vode, vetra ili njihovim zajedničkim delovanjem. Na ovaj način dolazi do odvajanja i uklanjanja čestica tla, uzrokujući na taj način propadanje zemljišta. Fenomen predstavlja veliki globalni ekološki problem, a zajedno sa brzim porastom stanovništva, svrstava se u najznačajnije ekološke probleme u svetu, gde je erozija ključni pokretač degradacije zemljišta, koja snažno utiče na održivo upravljanje zemljištem u različitim sredinama širom sveta.

Zaštita zemljišta od procesa erozije je jedna od primarnih zadataka zemalja članica Evropske Unije, na osnovu čega je 2002. godine usvojen VI Ekološki akcioni program, dopunjen 2006. godine Strategijom zaštite zemljišta. U pomenutim dokumentima je zemljište kvalifikovano kao deo neobnovljivih resursa i uspostavljeni su opšti ciljevi zaštite tog resursa, naročito u borbi protiv erozije.

Obzirom da su erozioni procesi različitih kategorija razornosti, determinisani praktično na celoj teritoriji Republike Srbije, ova oblast je regulisana u skladu sa važećom zakonskom regulativom (Zakon o zaštiti životne sredine „Sl. Glasnik RS”, br.135/2004 i 36/2009, Zakon o zaštiti zemljišta „Sl. Glasnik RS”, br. 112/2015-59. i dr).

Preduslov za očuvanje zemljišnog resursa jeste kontinuirano osmatranje pokazatelja koji se odnose na kvalitet i rizik od različitih formi degradacije. Procena gubitaka zemljišta kao i sistem zaštite od erozije predstavljaju neophodni uslov za održivi razvoj privrede i društva. Predviđanje gubitka zemljišta je važno za procenu opasnosti od erozije i determinaciju odgovarajućih mera konzervacije i korišćenja zemljišta u slivu.

Upravo razvijanjem i primenom različitih erozionih modela, dolazi se do osnovnih pokazatelja o eroziji zemljišta od značaja za naučne, privredne, planerske i političke sfere. Trenutna dostignuća u tehnologiji geografskog informacionog sistema (GIS) omogućuju predstavljanje realnog okruženja u računarskim prostornim podacima. Jedan od brojnih zadataka GIS-a je izdvajanje značajnih informacija iz kompleksnih odnosa prirodno-geografskih pojava i procesa. Geografski informacioni sistema omogućava da se svi relevantni prostorni podaci adekvatno sistematizuju, analiziraju i na kraju prikažu.

U ovom radu izvršena je analiza prostorne degradacije prirodnih resursa na slivu reke Veliki Rzav. Za analizu je primenjena metoda Potencijala erozije. Ova metoda je pogodna za definisanje erozionih procesa na površinama širokog spektra veličine. Nastala je na našem

području, a veliku primenu ima i van granice Republike Srbije. Prednost korišćenja ove metode je što ne zahteva veliki broj ulaznih parametara i moguća je primena GIS-a.

Sliv Velikog Rzava prema Vodoprivrednoj osnovi Republike Srbije ima značajnu ulogu u snabdevanju vodom za piće na makroregionalnom nivou, pa je iz tog razloga neophodno izvršiti procenu ugroženosti erozijom zemljišta na području izvorišta vodosnabdevanja. Obzirom da erozija predstavlja jednu od značajnijih ranjivosti ovog sliva, podaci o proceni ugroženosti imaju važnu ulogu u daljim istraživanjima i izboru mera i radova koje je neophodno sporovoditi kako bi rizik bio redukovan.

7. Literatura

1. Alam A., Bhat M.S., Maheen M. (2019): Using Landsat satellite data for assessing the land use and land cover change in Kashmir valley. *GeoJournal*. 85, 1529–1543
2. Antić, M., Jović, N., Avdalović, V. (1980): *Pedologija*, Naučna knjiga, Beograd
3. Babović, S. (2016): Uticaj socio-ekonomskih faktora na intezitet erozije u jugoistočnoj Srbiji, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet
4. Belanović Simić, S. (2017): Kvalitet zemljišta-izazovi sistema korišćenja, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd.
5. Bryan, R. B. (1974): Water erosion by splash and wash and the erodibility of Albertan soils, *Geogr. Ann. Ser. Phys. Geogr.*, pp. 159–181
6. Dragičević, N. (2016): A review of the Gavrilovic method (erosion potential method) application, *Građevinar*, 68, 9, 715-725, Beograd
7. Dragović, N., Zlatić, M., Petković, S. (2007): Comparative analysis of institutional organization of erosion and torrent control in Serbia with some EU countries, International Conference Erosion and Torrent Control as a Factor in Sustainable River Basin Management, Belgrade– Serbia
8. Dragović, N., Ristić, R. (2013): Institutional Organization and Financing of Works for the Protection of Soil from Erosion and Torrent Control in Serbia: Current Problems and Possible Solutions. *Journal of Torrent, Avalanche, Landslide and Rock Fall Engineering (Zeitschrift fur Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz*, ISBN: 978-3-9503089-5-2), No. 171, pp. 256-265
9. EEA, (2012): Soil erosion (CLIM 028) – Assessment, published Nov 2012, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark (www.eea.europa.eu)
10. Energoprojekt-Hidroinženjering MDD, (1998): “Vodoprivredni i energetska sistem “Rzav”, Brana i akumulacija „Arlje” na profilu “Svrakovo”, Glavni projekat, Knjiga II Podloge: Sveska 1: Geodetske, hidrološko-hidrauličke i bujičarske podloge”, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede republike Srbije, Beograd i JP za vodosnabdevanje “Rzav”
11. Favis-Martolock, D.T. (1996): The GCTE validation of soil erosion models for global change studies. *Journal of Soil and Water Conservation* 51 (5), 397–403
12. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2015): Status of the World’s Soil Resources (SWSR) – Main Report, Rome, Italy, ISBN 978-92-5-109004-6.
13. Gabrić, O. (2014): Eksperimentalno istraživanje procesa na slivu, padavine, oticaj i erozija tla, doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet, Subotica
14. Gavrilović, Z., Stefanović, M., Brajković, M. (2001): Identifikacija erozionih područja, Monografija “Upravljanje vodnim resursima Srbije 01”, 191-208. Beograd
15. Gavrilović, S. (1962): Proračun srednje-godišnje količine nanosa prema potencijalu erozije (A method for estimating of the average annual quantity of sediments according to the potency of erosion), *Glasnik Šumarskog fakulteta*; 26: 151-68
16. Gavrilović, S. (1972): Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji. Časopis „Izgradnja“, specijalno izdanje. Beograd

17. Golubović, T. (2020): Zagađivanje i zaštita zemljišta, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Niš, ISBN 978-86-6093-094-3
18. Gomez C., White J. C., Wulder M. A. (2016): Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 116, 55–72
19. Hajigholizadeh, M., Melesse, A.M., Fuentes, H.R. (2018): Erosion and Sediment Transport Modelling in Shallow Waters: A Review on Approaches, Models and Applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15 (3), 518
20. Harmon R.S., Doe W.W. (2001): *Landscape Erosion and Evolution Modeling*. Kluwer Academic/Plenum Publishers/ New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow
21. Hudson, N. (1993): *Field Measurement of Soil Erosion and Runoff*. Food & Agriculture Org
22. Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, (2014): Elaborat o zonama sanitarne zaštite izvorišta regionalnog vodosistema za prvu fazu i prvu etapu na otvorenom vodotoku reke „Rzav“, zona privremenog vodozahvata bujičarske pregrade „Švelj“, Beograd.
23. International Geographical Union (IGU), (1968): Commission on applied geomorphology, Subcommittee on geomorphological mapping, The unified key to the detailed geomorphological map of the world 1:25000–1:50000, *Folia geographica, series geographica-physica*, vol. II. Krakow; Зоран Никић и Радмила Павловић, Хидрогеологија са геоморфологијом (Београд: Планета принт, 2012), 395
24. Jovanović, B. (1967): Dendrologija sa osnovima fitocenologije, Naučna knjiga, Beograd
25. Kadović, R. (1999): Protiverozioni agroekosistemi, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd, ISBN 86-7299-046-3
26. Karsidi, A. (2004): Spatial analysis of land use/land cover change dynamics using remote sensing and geographic information systems: A Case Study in the downstream and surrounding of the CiTarum watershed, doctoral dissertation, Department of Geographical and Environmental Studies the University of Adelaide South Australia
27. Kostadinov, S. (1996): Bujični tokovi i erozija, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd
28. Kukrika, M. (2000): Geografski informacioni sistemi, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Beograd
29. Lazarević R. (1983): Karta erozije SR Srbije 1:500000-Tumač, Institut za šumarstvo i drvenu industriju, Beograd
30. Lazarević, R. (1985): Novi postupak za određivanje koeficijenta erozije, *Erozija*, br. 12, Društvo bujičara Jugoslavije, Beograd
31. Liu, H. (1999): Bare soil erosion dependence on soil and rainfall properties, University of Houston
32. Ljujić, M. (2013): Integralni koncept zaštite sliva i hidrografske mreže u cilju pretvaranja retenzija u akumulacije za vodosnabdevanje, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd
33. López Vicente, M. (2007): Erosión y redistribución del suelo en agroecosistemas mediterráneos: Modelización predictiva mediante SIG y validación con 137Cs (Cuenca

- de Estaña, Pirineo Central), Facultad de Ciencias. Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza
34. Manojlović, S. (2018): Uticaj geografskih faktora na promene inteziteta erozije u slivu reke Nišave, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Beograd
 35. Ministarstvo zaštite životne sredine Republike Srbije (MZZS) (2018): Vodič za održivo uparvljanje zemljištem na lokalnom nivou u Republici Srbiji, Beograd
 36. Минчев, И. (2014): Развој на методологија за утврдување заштитни зони околу водна акумулација од аспект на ерозијата и транспортот на нанос, докторска дисертација, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ Скопје, Шумарски факултет во Скопје
 37. Mitasova H., Barton M., Ullah I., Hofierka J., Harmon R.S. (2013): GIS-Based Soil Erosion Modeling. In: John F. Shroder (ed.) Treatise on Geomorphology, Volume 3, pp. 228–258. San Diego: Academic Press
 38. Mladenović, B. (2012): Komparativna analiza erozije zemljišta u Homolju i Zviždu, doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad
 39. Morgan, R.P.C (1979): Soil Erosion, Topics in applied geography, Longman Inc New York USA, ISBN 0 582 48692 0
 40. R. P. C. Morgan, Soil erosion and conservation. John Wiley & Sons, 2009
 41. Nearing M. N, Bradford J. M., and Parker S. C. (1991): “Soil Detachment by ShallowFlow at Low Slopes,” *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 55, no. 2, p. 339
 42. Odum, E.P. (1953): Fundamentals of Ecology, 384 pp. Philadelphia, Saunders.
 43. Perović, V. (2015): Procena potencijalne erozije zemljišta primenom USLE i PESERA modela na području sliv akumulacije Prvonek, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd.
 44. Poesen, J., Ingelmo-Sanchez, F., Mucher, H. (1990): The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affected by cover and position of rock fragments in the top layer. *Earth Surf. Process. Landf. Vol. 15*; pp. 653–671;
 45. Polovina, S., Radić, B., Ristić, R., Milačinović, V. (2016): Prostorna i vremenska analiza degradacije prirodnih resursa na slivu reke Likodre, Glasnik Šumarskog fakulteta, br. 114, pp. 169-188
 46. Polovina, S. (2022): Komparacija metoda za kvantifikaciju inteziteta erozionih procesa- Studija slučaja područja generalnog plana Beograda, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd.
 47. Ponting, K. (2009): Ekološka istorija sveta: Životna sredina i propast velikih civilizacija. Beograd: Odiseja
 48. Radić B. (2019): Predeona ekologija - praktikum, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, ISBN 978-86-7299-303-5
 49. Ristić, R., Nikić, Z. (2007): Održivost sistema za vodosnabdevanje Srbije sa aspekta ugroženosti erozionim procesima, *Vodoprivreda* br. 225-227, pp 47-57.
 50. Ristić, R., Milčanović, V., Malušević, I., Polovina, S. (2016): Bujične poplave i erozija kao dominantan faktor degradacije zemljišta u Srbiji – koncept prevencije i zaštite. Degradacija i zaštita zemljišta [Elektronski izvor]: tematski zbornik, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet ISBN 978-86-7299-242-7

51. Todorović, T. (1991): Osnovi geotehnike u bujičarstvu, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet
52. UN General Assembly, The human right to water and sanitation, A/RES/64/292 (3 August 2010), para. 1
53. Urošev, M. (2007): "Sliv Goljijske Moravice - hidrološka analiza", Geografski institut Jovan Cvijić, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd, Srbija.
54. Vlada Republike Srbije, (2004): Prostorni plan područja izvorišta vodosnabdevanja regionalnog podsistema Rzav, Beograd
55. Vulević, T. (2017): Višekriterijumsko odlučivanje u funkciji konzervacije zemljišnih i vodnih resursa brdsko-planinskih područja centralne Srbije, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet
56. W. H. Wischmeier and D. D. Smith (1965): Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation. Agricultural Research Service, U. S. Dept of Agriculture in cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station
57. Živanović, N. (2020): Otpornost zemljišta kao indikator mehanizma nastanka erozionog procesa, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet